Google

Тем, что эта книга дошла до Вас, мы обязаны в первую очередь библиотекарям, которые долгие годы бережно хранили её. Сотрудники Google оцифровали её в рамках проекта, цель которого – сделать книги со всего мира доступными через Интернет.

Эта книга находится в общественном достоянии. В общих чертах, юридически, книга передаётся в общественное достояние, когда истекает срок действия имущественных авторских прав на неё, а также если правообладатель сам передал её в общественное достояние или не заявил на неё авторских прав. Такие книги – это ключ к прошлому, к сокровищам нашей истории и культуры, и к знаниям, которые зачастую нигде больше не найдёшь.

В этой цифровой копии мы оставили без изменений все рукописные пометки, которые были в оригинальном издании. Пускай они будут напоминанием о всех тех руках, через которые прошла эта книга – автора, издателя, библиотекаря и предыдущих читателей – чтобы наконец попасть в Ваши.

Правила пользования
Мы гордимся нашим сотрудничеством с библиотеками, в рамках которого мы оцифровываем книги в общественном достоянии и делаем их доступными для всех. Эти книги принадлежат всему человечеству, а мы – лишь их хранители. Тем не менее, оцифровка книг и поддержка этого проекта стоят немало, и поэтому, чтобы и в дальнейшем предоставлять этот ресурс, мы предприняли некоторые меры, чтобы предотвратить коммерческое использование этих книг. Одна из них – это технические ограничения на автоматические запросы.

Мы также просим Вас:

- **Не использовать файлы в коммерческих целях.** Мы разработали программу Поиска по книгам Google для всех пользователей, поэтому, пожалуйста, используйте эти файлы только в личных, некоммерческих целях.
- **Не отправлять автоматические запросы.** Не отправляйте в систему Google автоматические запросы любого рода. Если Вам требуется доступ к большим объёмам текстов для исследований в области машинного перевода, оптического распознавания текста, или в других похожих целях, свяжитесь с нами. Для этих целей мы настоятельно рекомендуем использовать исключительно материалы в общественном достоянии.
- **Не удалять логотипы и другие атрибуты Google из файлов.** Изображения в каждом файле помечены логотипами Google для того, чтобы рассказать читателям о нашем проекте и помочь им найти дополнительные материалы. Не удаляйте их.
- **Соблюдать законы Вашей и других стран.** В конечном итоге, именно Вы несёте полную ответственность за Ваши действия – поэтому, пожалуйста, убедитесь, что Вы не нарушаете соответствующие законы Вашей или других стран. Имейте в виду, что даже если книга более не находится под защитой авторских прав в США, то это ещё совсем не значит, что её можно распространять в других странах. К сожалению, законодательство в сфере интеллектуальной собственности очень разнообразно, и не существует универсального способа определить, как разрешено использовать книгу в конкретной стране. Не рассчитывайте на то, что если книга появилась в поиске по книгам Google, то её можно использовать где и как угодно. Наказание за нарушение авторских прав может оказаться очень серьёзным.

О программе
Наша миссия – организовать информацию во всём мире и сделать её доступной и полезной для всех. Поиск по книгам Google помогает пользователям найти книги со всего света, а авторам и издателям – новых читателей. Чтобы произвести поиск по этой книге в полнотекстовом режиме, откройте страницу `http://books.google.com`.

Sm 11173
2

Digitized by Google

Изъ Библіотеки для чтенія А. Смирдина

№ 11173.

За годъ . . 10 рубл. сер.
За полгода 6 » »
За 3 мѣсяца 4 » »
За мѣсяцъ 2 » »

За чтеніе книгъ съ журналами 20 рубл. сер.

Новыя книги держать не болѣе двухъ недѣль.

Slovanská knihovna

SLOVANSKÁ KNIHOVNA
3186125075

11173.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ГЕОМЕТРІЯ

и

МЕХАНИКА

ИСКУСТВЪ, РЕМЕСЛЪ

и

ИЗЯЩНЫХЪ ХУДОЖЕСТВЪ.

167605.

СОЧИНЕНІЕ

Барона *Карла Дюпеня.*

Передѣланное съ Французскаго языка.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ,
въ типографіи медицинскаго департамента министерства внутреннихъ дѣлъ.
1831 года.

Digitized by Google

Печатать позволяется.

Съ тѣмъ, чтобы по напечатаніи представлены были въ Цензурный Комитетъ три экземпляра.—С. Петербургъ, 22 Генваря 1831 года.

Цензоръ Николай Щеголевъ.

MINISTERSTVO ZAHRANIČNÍCH VĚCÍ SLOVANSKÁ KNIHOVNA V PRAZE

Digitized by Google

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

МЕХАНИКА.

Digitized by Google

Digitized by Google

МЕХАНИКА.

ИСКУСТВЪ, РЕМЕСЛЪ и ИЗЯЩНЫХЪ ХУДОЖЕСТВЪ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О главныхъ мѣрахъ употребляемыхъ въ механическихъ художествахъ.

Всякое свойство матеріи подлежитъ измѣренію. Измѣренія ихъ доставляютъ наукѣ исчисленія, средство отличать отношенія подобныхъ свойствъ. и различныя степени одного и того же свойства.

Наука, называемая *Физикою* имѣетъ однимъ изъ главныхъ предметовъ, изысканіе средствъ находить мѣры свойствъ матеріи. При открытіи каждой новой отрасли науки должно находить мѣры новыхъ отношеній сей отрасли. Каждая изъ сихъ мѣръ ведетъ къ познаніямъ, которыхъ бы безъ оной получить было не возможно.

Теперь мы ограничимся разсматриваніемъ тѣхъ только мѣръ, которыя имѣютъ большое употребленіе во всѣхъ отрасляхъ Механики. Что же касается до особенныхъ мѣръ, полезныхъ только

Digitized by Google

въ нѣкоторыхъ частяхъ сей науки, мы покажемъ ихъ постоянно при описаніи относящихся къ нимъ особенныхъ матерій.

Геометрическія мѣры. Я называю такимъ образомъ мѣры пространствъ, то есть разстояній, поверхностей и тѣлъ. Механика употребляетъ ихъ для измѣренія занимаемыхъ пространствъ и пространствъ пробѣгаемыхъ точками, линіями, поверхностями и тѣлами.

Мѣры длины. Извѣстно, что за единицу мѣры длины можно принять какую нибудь большую или меньшую часть прямой линіи. Единицу сію можно измѣнять смотря по времени, мѣсту, требованіямъ и обстоятельствамъ. Такимъ образомъ видимъ мы, что Русскіе, Французы, Нѣмцы, Англичане, Итальянцы и почти всѣ народы употребляютъ для измѣренія различныя единицы. Даже у одного и того же народа употребляютъ для измѣренія длины въ различныхъ провинціяхъ, различныя мѣры, которыя не имѣютъ и малѣйшаго между собою сходства.

Таковое различіе мѣръ производитъ великія несовмѣстности при употребленіи ихъ въ художествахъ; въ дѣйствіяхъ торговли и въ отношеніяхъ общества. Различіе сіе содѣлываетъ необходимымъ точное познаніе отношеній весьма несходныхъ единицъ, опредѣленныхъ для измѣренія однихъ и тѣхъ же предметовъ. Притомъ если нужно будетъ производить исчисленія, необходимыя въ механическихъ работахъ, транспортахъ, продажахъ и покупкахъ, то для познанія точныхъ ве-

Digitized by Google

личинъ измѣреній и цѣнъ придется дѣлать безпрестанныя превращенія цыфръ.

Независимо отъ потери времени, происходящей отъ таковыхъ превращеній, выходитъ еще великій вредъ отъ средствъ доставляемыхъ сими превращеніями дабы обманывать людей, неимѣющихъ свободнаго времени или познаній, требующихъ часто довольно сложныхъ и безпрестанно возобновляющихся исчисленій.

Итакъ, изъ выше приведеннаго видно сколь важно, чтобъ каждое государство по всему пространству его, имѣло для каждой вещи одинъ родъ мѣръ.

Простирая взоры наши еще далѣе мы увидимъ, что не менѣе важно, дабы и весь родъ человѣческій, разсматриваемый въ его большихъ общественныхъ отношеніяхъ, для просвѣщеннаго міра имѣлъ одну только систему мѣръ.

Посему то Французы и ввели у себя новую систему мѣръ, основаніе которой взято изъ самой природы.

Въ Нидерландахъ, частію въ Швейцаріи, Піемонтѣ, древнемъ королевствѣ Итальянскомъ, королевствѣ Неаполитанскомъ употребляютъ сію новую систему мѣръ. Можетъ быть со временемъ, если обстоятельства того позволятъ, и всѣ просвѣщенные народы также введутъ оную у себя.

Опишемъ теперь сію новую систему мѣръ.

Линейная единица мѣръ, прежде унихъ употреблявшаяся не имѣла никакого постояннаго вида, дабы снова можно было прибѣгнуть къ оному для отысканія сей единицы во всѣхъ мѣстахъ и во

Digitized by Google

всѣ времена. *Футъ* и *тоазъ*, обыкновенно принимались по величинѣ ступени и стана большаго человѣка. Но поелику нельзя найти двухъ человѣкъ, которыхъ бы ступени были совершенно равныя, а ростъ совершенно одинаковый, то очевидно, что однажды потерявъ мѣру фута или тоаза, не возможно съ совершеннѣйшею точностію снова найти ихъ.

Посему то ученые Французы согласились измѣрить на поверхности земли разстояніе Полюса отъ Экватора, направляясь всегда отъ Сѣвера къ Югу, то есть по одному меридіану. Они произвели сію трудную работу съ такимъ успѣхомъ, который делаетъ честь равно и способамъ доставляемымъ наукою, и инструментамъ доставляемымъ механическими художествами, такъ и талантамъ, предусмотрительности, твердости сихъ знаменитыхъ мужей, которые предприняли или продолжали сію великую работу.

Опредѣливъ со всевозможною точностію, которой только достичь можно было, длину сего разстоянія Полюса отъ Экватора, они раздѣлили оное на десять милліоновъ равныхъ частей, и, сію дробь или сію десятимильонную часть приняли за единицу мѣры длины, назвавъ оную *метромъ*.

Метръ будучи сравненъ съ прежнею мѣрою имѣетъ 3 фута 11 линій, 296, то есть не много менѣе 3 футъ 1 дюйма.

Если бы разстоянія разнилось между собою весьма мало, если бы не имѣли надобности въ чрезвычайной точности, то было бы можно употреблять одинъ только родъ единицы и пренебре-

Digitized by Google

гать дроби. Но разстояній или длинъ существуютъ множество и такихъ, которыя почти близко подходятъ къ метру или не много онаго меньше, то очевидно, что главную единицу должно *раздѣлить* и *подраздѣлить*.

Въ нашей системѣ нумераціи мы считаемъ чрезъ единицы, десятки, сотни или десятки десятковъ, и такъ далѣе, возвышаясь всегда отъ десяти до десяти разъ большихъ единицъ отъ правой руки къ лѣвой, и отъ десяти до десяти разъ меньшихъ единицъ считая ихъ отъ лѣвой руки къ правой.

Новая система Французскихъ мѣръ согласуется съ сею системою нумераціи.

Метръ раздѣлили они на десять частей, которыя назвали *дециметрами;* дециметръ раздѣлили опять на десять частей и получили десятыя части десятыхъ или сотыхъ частей метра, назвавъ ихъ *центиметрами;* потомъ центиметръ опять на десять частей, кои будутъ десятыя части центиметра или десятыя части сотыхъ частей метра, то есть тысячныя части метра, и получили *миллиметръ*, и такъ далѣе.

Подобно тому какъ весьма необходимо имѣть мельчайшія раздѣленія единицы для предметовъ малыхъ размѣреній и короткихъ разстояній, равнымъ образомъ столь же важно имѣть большія единицы для предметовъ большихъ размѣреній и длинныхъ разстояній.

Для сего взяли длину десяти метровъ и назвали мѣру сію *декаметромъ*.

Длину десяти декаметровъ или десяти разъ взятыхъ десяти метровъ, или ста метровъ, приняли за мѣру, назвавъ ее *гектометромъ*.

Длину десяти гектометровъ, или десяти разъ взятыхъ ста метровъ, или тысячи метровъ, приняли за мѣру, назвавъ ее *километромъ*.

Длину десяти разъ взятыхъ тысячи метровъ, сдѣлали мѣрою, именуемою *миріаметромъ*.

Десять миріаметровъ составляютъ одинъ градусъ (сто градуснаго раздѣленія) земли, (*) то есть сотой части разстоянія полюса отъ экватора, измѣряемаго по одному меридіану.

Градусъ широты (**) земли равняется 10 миріаметрамъ. Минута равна километру. Секунда равна декаметру. Терція равна дециметру. Кварта равна миллиметру.

Теперь сравнимъ новыя Французскія мѣры съ нашими Русскими.

	Метр.	Рос. фут.	Рос. арш.	Рос. саж.
Миріаметръ	= 10000 =	32836,736 =	14072,887 =	4690,962
Километръ	= 1000 =	3283,6736 =	1407,2887 =	469,0962
Гектометръ	= 100 =	328,36736 =	140,72887 =	46,90962
Декаметръ	= 10 =	32,836736 =	14,072887 =	4,690962
Метръ	= 1 =	3,2836736 =	1,4072887 (*) =	0,4690962
Дециметръ	= 0,1 =	0,32836736 =	0,14072887 =	0,04690962
Центиметръ	= 0,01 =	0,032836736 =	0,014072887 =	0,004690962
Миллиметръ	= 0,001 =	0,0032836736 =	0,0014072887 =	0,0004690962.

(*) Французы теперь раздѣляютъ четверть круга на сто градусовъ, градусъ на сто минутъ, минуту на сто секундъ и такъ далѣе.

(**) Поелику не всѣ градусы земли равны между собою, то взяли среднюю длину оныхъ, между Балеарскими островами и островомъ Сетландъ.

(*) Метръ также = 1 арш. 6,6 вершковъ. Нашъ футъ = 0,304796 метра.

Digitized by Google

Мѣры поверхности. Основная единица сихъ мѣръ есть квадратъ составленный на линейной единицѣ.

У Французовъ нынѣ единица мѣры поверхности есть *квадратный метръ.*

Квадратъ, коего бокъ въ десять метровъ, слѣдовательно имѣющій сто квадратныхъ метровъ назвали они *аръ.*

Квадратъ вмѣщающій въ себѣ сто аровъ назвали они *гектаромъ*

Мѣра объемовъ. Французы измѣнили также и мѣру объемовъ; за единицу объемовъ они взяли кубическій метръ, назвавъ его стеромъ.

Кубъ, коего ребро есть дециметръ или кубическій дециметръ есть тысячная часть кубическаго метра.

Для удобности дѣйствій торговли и механическихъ художествъ, дѣлаютъ сосуды коихъ внутренность содержитъ кубическій дециметръ и называютъ ихъ *литрами*; ихъ употребляютъ для измѣренія жидкихъ тѣлъ и твердыхъ въ зернахъ или порошкѣ.

Сосудъ содержащій въ себѣ сто литровъ называется *гектолитръ.*

Для мельчайшихъ измѣреній подраздѣляютъ литръ на десять *децилитровъ*, или на сто *центилитровъ*, или на тысячу *миллилитровъ* и проч.

Показанныя теперь три рода размѣреній можно по справедливости назвать геометрическими мѣрами, поелику онѣ удовлетворяютъ измѣренію всего того, что составляетъ предметъ чистой Геометріи; но къ нимъ должно еще присовокупить дру-

Digitized by Google

гія мѣры, для требованій наукъ и механическихъ художествъ.

У насъ въ Россіи для измѣренія объемовъ употребляютъ кубическую сажень, содержащую 343 кубическихъ футовъ, а кубическій футъ имѣетъ 1728 кубическихъ дюймовъ. Для измѣренія же твердыхъ тѣлъ въ зернахъ мы имѣемъ четверикъ равняющійся 1491,5508 куб. дюймовъ, четверикъ сей есть цилиндръ имѣющій въ діаметрѣ и высотѣ 12,382 дюймовъ. Для измѣренія жидкихъ тѣлъ употребляется у насъ ведро вмѣщающее въ себѣ 754,552 куб. дюймовъ, ведро сіе есть также цилиндръ, котораго діаметръ и высота имѣютъ 9,875 дюймовъ.

Мѣры Механики: тяжесть. Всѣ тѣла земли нашей имѣютъ стремленіе приближаться къ центру сего шара. Итакъ, если ничто ихъ отъ того не удерживаетъ, то они дѣйствительно къ нему приближаются, дѣйствіе сіе называется паденіемъ. Сила, по которой тѣло въ покоѣ находящееся стремится упасть называется *тяжестію.*

Итакъ, два тѣла имѣютъ туже тяжесть, когда сила заставляющая ихъ стремиться къ центру земли будетъ равная.

Вѣсы различныхъ тѣлъ сравниваютъ и опредѣляютъ помощію машинъ, о которыхъ мы послѣ поговоримъ подробнѣе. Помощію сихъ машинъ узнаютъ, имѣютъ ли два тѣла или нѣтъ *равный вѣсъ.*

Теперь представимъ себѣ, что стремленію каждой матеріальной частицы приблизиться къ центру земли противоположено сопротивленіе, то

Digitized by Google

каждая матеріальная частица будетъ стараться превозмочь сопротивленіе и обнаружитъ сію силу давленіемъ. Сія то сила составляетъ *вѣсъ* тѣла.

У Французовъ единичную мѣру вѣса составляетъ *граммъ*.

10	граммовъ	дѣлаютъ	*декаграммъ*
100	— — —	— — —	*гектограммъ*
1000	— — —	— — —	*килограммъ*
10000	— — —	— — —	*миріаграммъ*

Грамъ и его подраздѣленія служатъ для взвѣшиванія весьма малыхъ предметовъ, какъ то: въ мастерствѣ золотыхъ дѣлъ, химіи, аптекахъ и проч. Онъ подраздѣляется на 10 *дециграммовъ* или на 100 *центиграммовъ* или на 1000 *миллиграммовъ*.

Дабы мѣру вѣса можно было отнести къ мѣрѣ принятыхъ размѣреній, приняли для величины килограмма вѣсъ кубическаго децимегра или литра дождевой воды, при наибольшемъ ея сгущеніи, чрезъ приличное пониженіе температуры.

Итакъ, если извѣстенъ метръ, или литръ, или стеръ, или килограммъ, то весьма легко опредѣлить и всѣ прочія роды мѣръ. Вотъ выгода новой системы мѣръ введенной во Франціи.

Нашъ Россійской Фунтъ=408,0955 граммамъ=0,4080955 килограмма. Одинъ килограммъ=2,44 нашего фунта.

Въ художествахъ употребляется и монета, также какъ мѣра, при новомъ раздѣленіи которой у Французовъ принимается за единицу *франкъ*, раздѣляющійся на 10 *децимовъ*, или на 100 *сантимовъ*, или на 1000 миллезимовъ. Сорокъ штукъ монетъ въ 5 франковъ вѣсятъ 1 килограммъ, что

Digitized by Google

составляетъ отношеніе монетныхъ мѣръ къ прочимъ мѣрамъ новой системы.

Мѣра величинъ монетою въ механикѣ. Монета, разсматриваемая какъ представительная величина всѣхъ прочихъ величинъ, можетъ быть также разсматриваема какъ мѣра силъ употребляемыхъ въ работахъ художествъ.

Монгольфіеръ говоритъ: я знаю только такія силы, которыя награждаются. То есть онъ принимаетъ монеты за мѣру силъ употребляемыхъ для произведенія какого нибудь дѣйствія. Напримѣръ, пусть человѣкъ имѣющій нѣкоторую степень силы, употребляетъ оную для перенесенія нѣкоторой тяжести на разстояніе одного аршина, и получаетъ за то рубль. Другой болѣе сильный, или работающій большее время, или скорѣе идущій, несетъ на томъ же разстояніи вдвое большую тяжесть и получаетъ два рубля. Сіи два рубля представляютъ ихъ полезную силу. Вотъ какимъ образомъ деньги измѣряютъ силу.

Положимъ, что приходитъ третій человѣкъ, который какою нибудь машиною, тачкою, тѣлежкою, санями, можетъ переносить втрое большую тяжесть, употребляя на то не болѣе силы работника получающаго рубль. Работникъ употребляющій машину получитъ три рубля, хотя онъ употребитъ силы не болѣе того, который получилъ рубль. Итакъ, для произведенія одинаковаго дѣйствія, должно чтобы одинъ употребилъ силы втрое болѣе другаго.

Предъ глазами Монгольфьера сіи два человѣка произведя одно и тоже полезное дѣйствіе, имѣ-

Digitized by Google

ютъ каждый одинаковое количество *полезной силы*, и должны получать равную сумму денегъ, хотя одинъ употребилъ силы и втрое болѣе другаго.

Задача предлагающаяся Механику состоитъ въ произведеніи всѣхъ движеній, всѣхъ перевозокъ, всѣхъ работъ художествъ такимъ образомъ, чтобы для каждаго даннаго дѣйствія потеря силы была наивозможно меньшая; и слѣдовательно такимъ образомъ, чтобы даннымъ количествомъ силы получить наибольшую сумму, справедливую награду наибольшаго полезнаго дѣйствія: такова задача, которую Механика искуствъ и ремеслъ имѣетъ своимъ предметомъ разрѣшенія.

Сила является намъ не только въ равновѣсіяхъ получаемыхъ помощію тяжестей измѣряющихъ сію силу, но и въ движеніяхъ, коихъ продолженіе измѣрять должно.

Я не буду опредѣлять время и продолженіе онаго, поелику опредѣленія мои не достигнутъ той очевидности понятій, которую каждый самъ себѣ представить можетъ.

Тѣла пробѣгающія въ равныя времена равныя пространства, могутъ служить для измѣренія продолженія времени. Но въ Природѣ почти не возможно найти такихъ тѣлъ. Однако люди наблюдая состояніе неба замѣтили, что Солнце во время каждаго дня и каждой ночи возвращается въ отношеніи каждой точки земли въ одной вертикальной плоскости (*); они раздѣлили время сіе

(*) Плоскость меридіана направленная отъ Сѣвера къ Югу.

Digitized by Google

на двѣнадцать равныхъ частей, назвавъ ихъ *часами*, часы на шестьдесятъ *минутъ*, минуты на шестьдесятъ *секундъ*, и такъ далѣе.

Мѣра сія достаточна для удовлетворенія нуждъ обыкновенной гражданской жизни. Но она не достаточна для требованій точныхъ наукъ, каковы суть Астрономія, Географія, и для требованій нѣкоторыхъ искуствъ, какъ то мореплаванія, поелику не всѣ дни года равны между собою.

Астрономъ принимаетъ за единицу среднюю длину всѣхъ дней года; потомъ онъ подраздѣляетъ сіи астрономическіе дни на часы минуты, секунды, и проч. Время счисляемое помощію сихъ послѣднихъ мѣръ называется *среднимъ временемъ*.

Съ самаго изобрѣтенія новой системы вѣсовъ и мѣръ во Франціи, для раздѣленія года приняли систему Египта и Аѳинъ, колоніи Египетской. Годъ раздѣлили они на 12 мѣсяцевъ; мѣсяцъ на три декады изъ 10 дней состоящія Каждый годъ прибавляютъ 5 *дополнительныхъ дней* къ 360 днямъ или къ 36 декадамъ. Въ каждый четвертый годъ, *шестой* дополнительный день даетъ 366 дней *високоснаго* года.

Digitized by Google

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Первые законы движенія и приложеніе оныхъ къ машинамъ.

Наблюденіе тѣлъ, движущихся на землѣ и въ нашей планетной системѣ, научаетъ насъ многимъ главнымъ правиламъ, которыя мы здѣсь представимъ дабы они могли служить основаніями нашихъ послѣдующихъ изъясненій.

1. Если тѣло находящееся въ покоѣ, ничто не побуждаетъ къ движенію, то оно всегда пребываетъ въ таковомъ состояніи. Оно остается таковымъ, поелику въ семъ случаѣ нѣтъ причины, по которой бы оно двигалось по одному или по другому направленію.

И такъ, когда тѣло переходитъ изъ состоянія покоя въ состояніе движенія, то должно, чтобы какая нибудь причина побуждала его двинуться съ мѣста, сія причина, сіе дѣйствующее средство есть то, что мы называемъ *силою*. Механика имѣетъ предметомъ своимъ познавать какимъ образомъ дѣйствуютъ силы на тѣла уединенныя, или зависящія одни отъ другихъ, въ ихъ положеніяхъ и въ ихъ формахъ.

2. Когда тѣло начинаетъ двигаться по какому нибудь направленію, съ какою нибудь скоростію, и, если ничто не препятствуетъ сему движенію, то оно продолжаетъ двигаться въ томъ же направленіи и съ тою же скоростію, то есть, оно

Digitized by Google

будетъ пробѣгать въ равныя времена равныя пространства. Вотъ что называютъ *единообразнымъ движеніемъ*.

Когда тѣло приведенное въ движеніе по какому либо направленію и съ какою либо скоростію, перемѣнитъ сію скорость или сіе направленіе, то опытность постоянно показываетъ, что сія перемѣна доказываетъ дѣйствіе какой нибудь новой силы, дѣйствующей по тому же направленію или по какому другому.

Также, если какое нибудь неодушевленное бездѣйственное тѣло, не способно сообщить себѣ движеніе, котораго оно не имѣетъ, то оно также неспособно и ускорить полученное имъ движеніе. Итакъ, когда неодушевленное тѣло находится въ движеніи, то оно всегда его продолжаетъ, то есть, оно будетъ въ томъ же направленіи въ равныя времена пробѣгать равныя пространства. Скорость есть отношеніе пробѣгаемаго пространства ко времени.

На примѣръ, принимая минуту за единицу времени, а футъ за единицу длины, говорятъ: тѣло, которое въ одну минуту пробѣгаетъ футъ, движется со скоростію 1; тѣло, которое пробѣгаетъ два фута въ минуту имѣетъ скорость 2; тѣло, которое въ одну минуту пробѣгаетъ три фута имѣетъ скорость 3; и проч.

Опытность показываетъ намъ еще другое весьма примѣчательное дѣйствіе, состоящее въ томъ, что двѣ силы, будучи приложены къ одному и тому же тѣлу, въ одномъ направленіи и въ одну сторону (какъ. двѣ лошади впряженныя въ рядъ, чтобы тащить повозку), производятъ тоже дѣйствіе, какое бы произвела одна сила равная

Digitized by Google

суммѣ двухъ первыхъ силъ. Сила сія называется *равнодѣйствующею*, поелику она производитъ дѣйствіе равное первымъ двумъ силамъ, кои именуются *составляющими*.

Напротивъ, если двѣ силы дѣйствуютъ по одному направленію, но прямо противоположно, то тѣло будетъ двигаться, какъ будто побуждаемое одною *равнодѣйствующею* силою, равною разности двухъ *составляющихъ* силъ, и въ сторону большей силы.

Такимъ образомъ при крутыхъ скатахъ, извощики отпрягаютъ переднюю лошадь и привязываетъ оную сзади повозки, дабы она могла везти оную какъ будто пятясь назадъ. Въ семъ случаѣ движущая сила, вмѣсто того чтобъ быть равною силѣ двухъ лошадей, есть только сила коренной лошади, тянущей впередъ, безъ силы другой лошади, тянущей назадъ.

О равновѣсіи. Если сила, влекущая тѣло впередъ, равна силѣ влекущей назадъ, то разность оныхъ силъ равна нулю, и тѣло, не будетъ уже двигаться ни впередъ, ни назадъ: тогда произойдетъ такъ называемое *равновѣсіе*, то есть *покой силы:* состояніе весьма различное отъ естественнаго покоя, состоящаго въ томъ, что ни какая сила не побуждаетъ тѣло къ движенію.

Если къ равнодѣйствующей многихъ силъ, приложить новую силу, ей равную и прямопротивоположную, тогда произойдетъ равновѣсіе; правило весьма примѣчательное и обильное, которое допускаетъ приводить къ вопросамъ равновѣсія, вопросы имѣющія предметомъ изысканіе выводовъ производящихъ движеніе.

Вмѣсто того, чтобы разсматривать только 2 силы, дѣйствующія въ одну сторону, можно раз-

Digitized by Google

сматривать ихъ по 3, 4, 5 и проч; однимъ словомъ всякое произвольное число силъ. Тогда мы увидимъ, что для полученія равнодѣйствующей силы должно: 1. взять сумму всѣхъ силъ, влекущихъ или толкающихъ тѣло впередъ; 2. сумму всѣхъ силъ, влекущихъ или толкающихъ тѣло назадъ; то тѣло будетъ двигаться въ сторону наибольшей суммы, точно такъ какъ будто оно было толкаемо или влекомо одною силою равною разности двухъ суммъ (*).

Третіе начало, которое должно твердо запѣчатлѣть въ памяти, состоитъ въ томъ что если потребна какая либо сила, дабы двигать тѣло съ данною скоростію, то есть, чтобы перенести его на данное разстояніе въ данное время, то въ то же время половина сей силы, перенесетъ тѣло на половинное разстояніе, треть сей силы перенесетъ тѣло сіе на треть того разстоянія, четверть силы, на четверть разстоянія, и такъ далѣе.

Напротивъ, предполагая продолженіе времени постояннымъ, удвоенная сила перенесетъ то тѣло

(*) Разсмотримъ, на примѣръ, повозку везомую восемью лошадьми. Когда всѣ сіи лошади запряжены въ одинъ рядъ и въ одну сторону, то повозка будетъ тащиться какъ будто силою одной лошади, равною силѣ восьми лошадей. Потомъ если извощикъ отпряжетъ, напримѣръ, три лошади, чтобы привязать ихъ сзади повозки и чтобы они тащили оную назадъ, то: 1. движеніе будетъ такое, какъ будто имѣли впереди одну кошадь, имѣющую силу пяти лошадей впереди находящихся, и одну лошадь назади, имѣющую силу трехъ лошадей тамъ помѣщенныхъ; 2. сіе движеніе будетъ таковое, каковое бы произвела одна лошадь, которой сила равна разности между силою пяти лошадей тянущихъ повозку впередъ и силою трехъ лошадей тянущихъ оную назадъ. Очевидно что движеніе будетъ по сторонѣ пяти лошадей, если силы всѣхъ ихъ равны между собою.

Digitized by Google

на двойное разстояніе, устроенная сила перенесетъ тѣло на устроенное разстояніе, учетверенная сила перенесетъ его учетверенное разстояніе, и такъ далѣе.

Когда сила остается постоянною, а масса тѣла измѣняется, тогда произойдетъ слѣдующее.

Въ продолженіе одного и того же времени постоянная сила будетъ переносить: двойную массу на половину разстоянія, тройную массу на треть разстоянія, учетверенную массу на четверть разстоянія, и такъ далѣе. Равнымъ образомъ постоянная сила будетъ переносить половину тѣла на двойное разстояніе, треть тѣла на тройное разстояніе, четверть тѣла на четверное разстояніе, и такъ далѣе. Изъ сего видно, что большія массы труднѣе приводить въ движеніе чѣмъ меньшія и сіе препятствіе совершенно пропорціонально массѣ тѣлъ, такъ что при той же силѣ, употребляемой для движенія той же тяжести, препятствіе всегда пропорціонально массѣ.

Во всякой матеріи находится сопротивленіе движенію и скорости, сопротивленіе прямопропорціональное массѣ ея; сопротивленіе сіе, которое должно уничтожать для приведенія тѣлъ въ движеніе, называется недѣятельностію (inertia) матеріи.

Недѣятельность сію легко усмотрѣть при сравненіи усилій, которыя должно употребить для сдвинутія большихъ и малыхъ тѣлъ. Малѣйшее дитя бросаетъ довольно далеко маленькіе камешки и зерна песка, между тѣмъ какъ сильнѣйшій человѣкъ, собравъ всѣ свои силы, въ тоже время съ

Digitized by Google

трудомъ можетъ подвинуть на дюймъ огромныя тяжести, напримѣръ большой кусокъ гранита.

Замѣтимъ здѣсь, какимъ образомъ одна и таже сила можетъ произвести тоже дѣйствіе, но различными способами. Я могу раздѣлить тѣло, которое перенести должно, на 2, 3, 4, ... равныя части, потомъ къ каждой приложить всю мою силу. Если я раздѣлю его на 2 части, то каждую половину перенесу въ 2 раза скорѣе, слѣдовательно 2 половины перенесутся въ тоже самое время. Если я раздѣлю его на 3 равныя части, то каждая третья часть будетъ перенесена въ три раза скорѣе, слѣдовательно 3 трети, перенесутся также въ тоже самое время, и проч.

Положимъ теперь, что я имѣю 20 тяжестей равной массы, изъ коихъ каждую должно перенести на данное разстояніе 20 равными силами. Если тяжести сіи буду брать по 2 и переносить силами взятыми также по 2, то буду имѣть 10 переносокъ вмѣсто 20; но 20 тѣлъ перенесутся на данное разстояніе въ тоже самое время. Тоже самое будетъ если я буду брать тѣла по 3, 4, ... , и переносить силами взятыми также по 3, 4 . . . . . , и проч.

Вотъ почему [изъ точки зрѣнія механическаго изчисленія] все равно перевозить всю тяжесть въ повозкахъ, запряженныхъ 1, 2, 3 . . . . . лошадьми, клавъ тяжести по 1, 2, 3 . . . . . Вся тяжесть будетъ всегда перевозиться на тоже разстояніе и въ тоже самое время.

Трата силъ потребныхъ для перенесенія тѣла на данное разстояніе изчисляется: 1. по вѣсу тѣ-

Digitized by Google

ла; 2. по скорости, которая требуется для пробѣжанія даннаго разстоянія. Произведеніе сего изчисленія составляетъ *количество движенія.*

Вѣсы счисляются по фунтамъ, а время по часамъ. Если одинъ фунтъ пробѣгаетъ въ часъ разстояніе принятое за единицу, то количество движенія=1.

10, 100, 1000,.... фунтовъ, пробѣгающіе въ 1 часъ *единицу* разстоянія, даютъ количества движенія, представляющіяся чрезъ *однажды* взятыя 10, 100, 1000.

1, 10, 100, 1000, ... фунтовъ, пробѣгающія въ 1 часъ, *двѣ* единицы разстоянія, представляютъ количество движенія чрезъ дважды взятыя 1, 10, 100, 1000, ... фунтовъ.

Я привелъ сіи примѣры потому, что они способны представлять, въ первоначальномъ видѣ правила, которыя должно было сдѣлать столь легкими, сколько то возможно.

Прежде нежели пойдемъ далѣе, повторимъ показанные нами законы покоя и движенія. Всякое тѣло въ покоѣ находящееся, остается въ ономъ, пока одна или многія силы не принудятъ его двигаться. Всякое движущееся тѣло совершаетъ путь свой въ прямой линіи; оно пробѣгаетъ въ равныя времена равныя пространства, если какая нибудь посторонная сила не совратитъ постоянства и правильности сего движенія, которое называется *единообразнымъ.*

Скорость, есть отношеніе между единообразно пробѣгаемымъ пространствомъ и временемъ для сего потребнымъ.

Digitized by Google

Когда время, употребленное для пройденія пространства, постоянно, то скорость подобно пространству удвояется, утрояется, учетверяется, и такъ далѣе; она содѣлывается также менѣе въ половину, въ треть, въ четверть и такъ далѣе; однимъ словомъ, она совершенно пропорціональна сему пространству.

Когда пробѣгаемое пространство постоянно, то чѣмъ время потребное для пробѣжанія онаго увеличивается, тѣмъ болѣе уменьшается скорость, и совершенно въ обратномъ отношеніи, то есть, если время удвояется, утрояется, учетверяется, то скорость дѣлается менѣе въ двое, въ трое, въ четверо, и такъ далѣе.

Когда скорость постоянна, то пробѣгаемое пространство пропорціонально времени, то есть въ той же пропорціи возрастаетъ и убываетъ.

Въ единообразныхъ движеніяхъ, сила пропорціональна массѣ тѣла, помноженной на скорость.

Если бы тѣла двигались не претерпѣвая никакого сопротивленія, какъ будто въ пустомъ пространствѣ, то однажды сообщенное движеніе продолжали бы они съ тою же скоростію и въ томъ же направленіи. Но на землѣ безпрестанно встрѣчается множество обстоятельствъ, препятствующихъ тѣламъ вѣчно двигаться, какъ то: сопротивленіе жидкостей наполняющихъ пространство, въ коихъ движутся тѣла, трѣніе, соудареніе тѣлъ встрѣчающихся въ движеніи и тяжесть.

Когда мы сообщимъ тѣлу какое нибудь движеніе, то всегда видимъ, что движеніе сіе постепенно уменьшается и кончается совершеннымъ

Digitized by Google

уничтоженіемъ онаго, отъ чего тѣло опять приходитъ въ покой.

На примѣръ, при игрѣ въ шаръ, если бы трѣніе о поверхность земли и сопротивленіе воздуха тому не препятствовали, то шаръ сей, будучи однажды брошенъ по горизонтальной плоскости, катился бы никогда не уменьшая своей скорости; но мы знаемъ, что на совершенно гладкой и ровной плоскости, какую только сдѣлать можно, скорость сія уменьшается и наконецъ совершенно уничтожается.

Слѣдовательно, въ нашихъ художествахъ, для произведенія непрерывнаго движенія, должно каждую минуту прибавлять новыя степени силы къ тому тѣлу, которое мы приводимъ въ движеніе.

Такъ напримѣръ, когда должно перевозить по дорогѣ тяжести, то недостаточно тотчасъ сообщить нѣкоторое движеніе, должно замѣнять каждую минуту то, что теряется отъ сопротивленія. Сіе можно сдѣлать помощію людей или животныхъ, употребляемыхъ для перевозки сихъ тяжестей.

Сіе количество силы, которое должно употребить каждую минуту, очевидно равно силѣ потерянной въ продолженіи предыдущаго времени; а сумма силъ, употребленныхъ для перевозки въ концѣ разсматриваемаго времени, должна быть разсматриваема какъ равная суммѣ силъ потерянныхъ отъ сопротивленій.

И такъ, когда человѣкъ идетъ съ одинаковою скоростію въ продолженіи разсматриваемаго времени, то сумма силъ употребленныхъ въ продол-

Digitized by Google

женіи сего времени представитъ сумму потерянныхъ силъ.

Здѣсь видно, что трата силъ становится тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе будетъ пространство. Когда движеніе сіе во всемъ единообразно, то силы употребляемыя для произведенія онаго, въ продолженіи даннаго времени, прямо пропорціональны сему времени.

Замѣтимъ теперь чрезвычайную разность, существующую между движеніемъ, производимымъ въ совершенно пустомъ пространствѣ, безъ всякаго сопротивленія и между движеніемъ совершаемымъ на нашей землѣ. Если планета, комета или какая тяжесть совершаютъ путь свой въ небѣ, то для полученія ихъ количества движенія должно узнать вѣсъ планеты, кометы или тяжести и умножить на скорость. Произведеніе останется постоянымъ, каково бы ни было пробѣгаемое пространство, поелику тѣла сіи для продолженія движенія своего нисколько не изтрачиваютъ новыхъ силъ. Но на землѣ, должно къ сей первой суммѣ прибавлять другую, представляющую потерю силъ въ каждое мгновеніе; сія послѣдняя, безпрестанно возрастая скоро превзойдетъ первую такъ что ее можно и пренебречь. Тогда говорятъ, какъ на примѣръ подрядчики перевозокъ, что при равныхъ тяжестяхъ цѣна перевозки пропорціональна пробѣгаемому пространству. Наблюденія сіи можно приложить не только къ перевозкѣ, но и къ большей части движеній производимыхъ силами въ машинахъ различнаго рода, что яснѣе увидимъ въ продолженіи сего курса, и въ особенности въ III томѣ, въ статьѣ: употребленіе движущихъ силъ.

Digitized by Google

Мы теперь видѣли, что можетъ произойти, когда какая нибудь сила сообщаетъ данному тѣлу какое либо движеніе. Представимъ себѣ, что сила сія возобновляетъ дѣйствіе въ промежуткахъ равныхъ между собою временъ.

Назовемъ чрезъ e пространство, проходимое тѣломъ, чрезъ v скорость сему тѣлу сообщенную, и чрезъ t время, употребляемое для прохожденія пространства e со скоростію v.

Въ началѣ второй единицы времени, сила, возобновляя дѣйствіе свое, удвояетъ скорость тѣла, которое во все второе продолженіе времени t пробѣгаетъ пространство равное $2\,e$.

Въ началѣ третьей единицы времени, сила, опять повторяя дѣйствіе свое, *утрояетъ* скорость сего тѣла, которое въ третьемъ продолженіи времени t, переходитъ пространство равное $3\,e$, и такъ далѣе. Такимъ образомъ будетъ:

	въ 1 время t,	2 время t,	3 время t,	4 время t,	m время t.
скорости:	—— —— v,	——— $2v$,	——— $3v$,	——— $4v$,	——— mv.
перейденныя пространства	—— —— e,	——— $2e$,	——— $3e$,	——— $4e$,	——— me.

Очевидно, что все пространство, перейденное тѣломъ въ продолженіи m разъ взятаго времени t, будетъ равно: $e+2\,e+3\,e+4\,e+\ldots\ldots+me$.

Дабы выводы сіи сдѣлать еще болѣе очевидными, то можемъ для сего обратиться къ геометрическимъ формуламъ.

Пусть (фиг. 1) вертикальная линія OX, раздѣлена на равныя части, изъ коихъ каждая представляетъ единицу времени t. Пусть горизонтальная линія OY, раздѣлена на равныя части, изъ коихъ

Digitized by Google

каждая представляетъ пространство e, проходимое тѣломъ въ продолженіи перваго времени t.

Проведя чрезъ точки дѣленія горизонтальныя и вертикальныя линіи, составимъ лѣстницу, коей ступени будутъ имѣть длиною пространства e, $2e$, $3e$, $4e$...., проходимыя тѣломъ въ послѣдовательныя времена равныя t.... Поверхность различныхъ ступеней будетъ:

$OA \times e$, $AB \times 2e$, $BC \times 3e$, $CD \times 4e$,..... Но $OA = AB = BC = CD$..... Сдѣлаемъ широту всѣхъ ступеней равную *единицѣ*, тогда поверхность ступеней выразится просто чрезъ:

e, $2e$, $3e$, $4e$.....

И вся поверхность лѣстницы представитъ просто все перейденное тѣломъ пространство.

Положимъ, что сила удара дѣлается половиною, но что она въ данное время удвояетъ число сихъ ударовъ.

Сохраняя туже единицу пространства, новыя ступени лѣстницы [фиг. 2], представляющія сіе новое движеніе, будутъ имѣть половинную широту, но за то число ихъ будетъ вдвое болѣе. Равнымъ образомъ, и переходимыя пространства будутъ въ каждую половину времени только половины первоначальныхъ пространствъ, но за то ихъ будутъ *вдвое* болѣе.

Также можно предположить, что ударяющая сила уменьшилась до трети, четверти [фиг. 3], пятой доли.... своей первоначальной величины, но что она возобновляетъ свои ударенія три, четыре, пять,.... разъ, въ то время какъ первоначальная возобновляетъ ихъ только одинъ разъ.

Digitized by Google

Тогда движенія изобразятъ ступени, коихъ широта будетъ треть, четверть, пятая часть, ... первоначальной ширины, и которыхъ возрастаніе длины будетъ только треть, четверть, пятая доля ..... первоначальнаго возрастанія.

Если отъ вершины лѣстницы до ея нижней оконечности проведемъ прямую линію OZ, то она пройдетъ чрезъ всѣ точки I, II, III, IV ....., которыя будутъ ограничивать низъ ступеней, и посему будемъ имѣть для перейденныхъ пространствъ въ концѣ временъ:

t, $2t$, $3t$, $4t$, ...

AI, BII, CIII, DIV .....

Отношеніе сторонъ OAI неизмѣнится, когда возмемъ вдругъ половину стороны OA$=t$ и стороны AI$=e$, треть OA и AI, четверть OA и AI, дабы образовать лѣстницы [фигуры 2 и 3], представляющія другія движенія, которыя мы только описали.

Итакъ направленіе линіи OI. II. III. IV ..... не измѣнится если предположимъ, что сила уменьшаетъ величину свою въ томъ отношеніи, въ которомъ она увеличиваетъ удары свои въ продолженіи даннаго времени.

Если удары сіи такъ умножатся, и сила оныхъ такъ уменьшится, что OA$=t$, и AI$=e$ должно будетъ раздѣлить на равныя части, которыя будутъ непримѣтны для нашихъ чувствъ, то профиль лѣстницы 1I 2II 3III 4IV ..... [фиг. 1], содѣлается въ глазахъ нашихъ простою прямою линіею OZ [фиг. 4]. Поверхность лѣстницы O 1I 2II ..... ZX, представляющая все перейденное тѣломъ про-

Digitized by Google

странство, въ продолженіи времени, изображеннаго чрезъ OX, содѣлается просто поверхностію трехугольника OZX [фиг. 4].

Поелику скорость пропорціональна пространству, раздѣленному на время [которое здѣсь принимается за единицу], то длины ступеней AI, BII, CIII, ... представятъ скорости, приобрѣтенныя тѣломъ въ концѣ времени равнаго $1t$, $2t$, $3t$, ...

Итакъ сія скорость есть таже въ концѣ того же времени, предполагая что сила приведенная въ

$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, ...

дѣйствуетъ въ 2, 3, 4, 5, ... разъ, между тѣмъ какъ первоначальная сила дѣйствуетъ одинъ только разъ.

Если число ударовъ въ продолженіи даннаго времени столь велико, что чувства наши не въ состояніи болѣе различать послѣдованіе ихъ, чрезъ безпрерывную перемѣну скоростей, то прямая OZ (фиг. 4 и 5) какъ мы сказали представитъ приобрѣтенныя скорости, когда OX представляетъ протекшія времена, а поверхность лѣстницы, содѣлавшаяся тогда поверхностію трехугольника OXZ, представитъ перейденныя пространства. Слѣдовательно въ концѣ времени, представленнаго чрезъ OX, приобрѣтенная скорость изобразится длиною XZ, а перейденное пространство представится поверхностію OXZ.

Назовемъ чрезъ t и T, времена представленныя чрезъ Ox и OX [фиг. 5]; чрезъ v и V скорости, изображенныя чрезъ xz и XZ; наконецъ чрезъ e и E, пространства изображающіяся поверхностію трехугольниковъ Oxz и OXZ.

Digitized by Google

Будемъ имѣть: $Ox : OX = xz : XZ$

или $t : T = v : V$

Итакъ, въ разсматриваемомъ нами движеніи, скорости v и V приобрѣтенныя въ концѣ временъ t и T пропорціональны симъ временамъ.

Также будетъ (смотри Геометрію, главу V): площадь Oxz: площади $OXZ = Ox^2 : OX^2$

или $e : E = t^2 : T^2$

Слѣдовательно, *перейденныя пространства пропорціональны квадратамъ, употребленныхъ на прохожденіе ихъ временъ.*

Когда времена будутъ $1t$, $2t$, $3t$, $4t$, $5t$, $6t$, ..., то пробѣгаемыя пространства, будутъ: $1e$, $4e$, $9e$, $16e$, $25e$, $36e$.....

По подобію трехугольниковъ Oxz и OXZ, будетъ: площадь Oxz: площади $OXZ = xz^2 : XZ^2$

или $e : E = v^2 : V^2$

То есть: *пространства, перейденныя въ данныя времена, пропорціональны квадратамъ скоростей, приобрѣтеннымъ въ концѣ сихъ временъ.* Слѣдовательно:

Въ концѣ временъ $1t$, $2t$, $3t$, $4t$, $5t$, $6t$.....

Приобрѣтен: скорости суть: $1v$, $2v$, $3v$, $4v$, $5v$, $6v$.....

Перейденныя пространства $1e$, $4e$, $9e$, $16e$, $25e$, $36e$.....

Положимъ, что въ концѣ времени T (фиг. 5) изображеннаго линіею OX, ударяющая сила вдругъ перестаетъ дѣйствовать, тогда тѣло будетъ двигаться съ постоянною скоростію V, изображенною чрезъ XZ. Тогда равныя горизонтальныя линіи $XZ = x'z' = X'Z'$ представятъ сію постоянную скорость.

Digitized by Google

Площадь трехугольника OXZ представляетъ все пространство перейденное въ продолженіи времени T, рядомъ чрезвычайно малыхъ тонкательныхъ силъ, производящихъ въ каждое равное время, постоянное дѣйствіе.

Итакъ, когда чрезвычайно малая постоянная сила, возобновляетъ удары свои въ промежутки равныхъ временъ и также чрезвычайно малыхъ, то пространство, которое она побуждаетъ пройти тѣло, въ продолженіи времени T, есть половина пространства, которое въ тоже время T пробѣжитъ тѣло, если сила перестанетъ возобновлять удары свои.

Тяжесть. Природа представляетъ намъ множество примѣровъ непрерывнаго повторенія постоянно дѣйствующей силы. Всѣ тѣла стремятся приблизиться къ центру земли; мы чувствуемъ силу сію, препятствуя ей увлекать тѣло, которое нести хотимъ. Сила тяжести каждую минуту уничтожается сопротивленіемъ, которое тѣло наше представляетъ движенію; но спустя сію минуту мы чувствуемъ возрожденіе оной, всегда въ одинаковой степени.

Слѣдовательно всѣ выводы, до которыхъ мы достигли, относительно къ силамъ безпрестанно возобновляющимъ ихъ постоянное дѣйствіе, можно также приложить и къ силѣ тяжести.

Итакъ, когда тѣло падаетъ свободно не бывъ удерживаемо никакимъ препятствіемъ, то: 1. скорости имъ приобрѣтаемыя пропорціональны протекшимъ временамъ; 2 перейденныя пространства пропорціональны квадратамъ протекшихъ вре-

Digitized by Google

менъ. 3 Перейденныя пространства пропорціональны квадратамъ скоростей, приобрѣтаемымъ тѣлами въ концѣ каждаго перейденнаго пространства.

4. Если тѣло въ концѣ даннаго времени принимаетъ постоянную скорость равную той, которую оно въ сіе время получило, то оно перебѣжитъ удвоенное пространство того, которое только что перешло, увеличивая постепенно свою скорость.

Въ каждой точкѣ нашего нахожденія на поверхности земли, пространство перейденное падающимъ тѣломъ въ первую секунду его паденія равняется 4 метр., 9043975. Слѣдовательно скорость приобрѣтенная имъ въ концѣ второй секунды, можетъ заставить его пройти единообразно, двойное сіе пространство, то есть въ секунду 9 метр., 808795.

Въ концѣ 10 секундъ, пространство перейденное свободно падающимъ тѣломъ, будетъ во сто разъ болѣе пространства перейденнаго въ продолженіи одной секунды или 409, метр. 43975; въ концѣ одной минуты пространство сіе будетъ 17. 655 метр., 831.

Однако, тѣла непадаютъ съ столь большею скоростію, по причинѣ сопротивленія, которое воздухъ имъ противополагаетъ. Смотри III томъ: употребленіе движущихъ силъ.

Приложеніе. При небольшихъ пространствахъ и употребляя не самыя тяжелыя тѣла, помощію часовъ, на коихъ означены пятыя доли секундъ, можно довольно вѣрно измѣрять глубину ямы, колодезя, высоту стѣны, башни, и проч. Для сего бросаютъ тѣло, считая секунды и доли, которыя употребитъ оно для пройденія сего пространства, потомъ помножаютъ квадратъ сего числа

3,

Digitized by Google

на 4 метр., 904 . . . . , то сіе произведеніе даетъ перейденное искомое пространство.

Замѣтимъ сіе первое и превосходное отношеніе Геометріи и Механики, помощію котораго смотря на часы мы можемъ находить высоты зданій и глубины ямъ, и которое равнымъ образомъ даетъ простое средство находить протекшее время, измѣреніемъ пройденнаго пространства. Маятники представляютъ еще болѣе примѣчательный примѣръ сего близкаго отношенія двухъ наукъ, которыя соединяютъ свои начала и слѣдствія для изъясненія и руководства промышленности.

При изъясненіи дѣйствія песта, бабы, чеканнаго станка, молота и проч., мы увидимъ сколь важны и многочисленны тѣ приложенія, которыя художества извлекли изъ законовъ паденія тѣлъ, и сколь важно для каждаго знать сіи законы.

Положимъ, что тяжесть начиная дѣйствіе свое, повторяетъ его всякое мгновеніе, то тѣло приобрѣтаетъ нѣкоторую скорость; здѣсь должно различить три случая.

1. Если первоначальная скорость имѣетъ одно направленіе съ тяжестію, то сія постоянная скорость прибавится къ скоростямъ впечатлѣннымъ тѣлу тяжестію.

Въ семъ случаѣ при тѣлахъ, которыхъ скорость возрастаетъ, тяжесть будетъ *ускорительною силою.*

2. Если первоначальная скорость имѣетъ направленіе обратное тяжести, тогда тяжесть будетъ безпрестанно уменьшать сію скорость. Въ такомъ случаѣ тяжесть будетъ *укоснительною силою.*

Digitized by Google

При выстрѣливаніи изъ пистолета съ верьху въ низъ, пуля вылѣтаетъ изъ ствола онаго со всею скоростію, полученною отъ возпламенившагося пороха; потомъ сія первоначальная скорость возрастаетъ отъ безпрестанно повторяемыхъ дѣйствій силы тяжести, которая въ семъ случаѣ, дѣйствуетъ какъ ускорительная сила. Стрѣляя же съ низу въ верхъ, пуля возвышается со всею скоростію, полученною ею отъ возпламенившагося пороха, но движеніе оной будетъ каждую минуту удерживаться безпрестанно возобновляющеюся силою тяжести, которая будетъ дѣйствовать какъ укоснительная сила. Въ концѣ извѣстнаго времени противудѣйствіе тяжести уничтожитъ всю первоначальную скорость пули, и она останется нѣкоторое время въ покоѣ. Тяжесть, продолжая дѣйствіе свое заставитъ пулю нисходить, начиная отъ положенія гдѣ она была въ покоѣ, и будетъ продолжать дѣйствовать какъ ускорительная сила.

Въ семъ новомъ движеніи, сила тяжести въ каждое мгновеніе прибавляетъ количество дѣйствія, совершенно равное тому количеству, которое уменьшалось при восхожденіи пули. Итакъ, *для одного и того же времени, прежде и послѣ мгновенія, гдѣ пуля находится на самомъ большемъ возвышеніи, она при возхожденіи и нисхожденіи пробѣгаетъ равныя пространства. Она при восхожденіи и низхожденіи будетъ всегда имѣть одну и туже впечатлѣнную скорость.*

Выводъ сей должно твердо запечатлѣть въ своей памяти. Это есть одно изъ богатѣйшихъ на-

Digitized by Google

чалъ Механики; и вы увидите сколь важны и многочисленны его приложенія къ промышленности.

Потерянная скорость восходящей пули пропорціональна времени, протектему отъ начала ея вылета изъ ствола, а уменьшеніе пространства пробѣгаемаго восходящею пулею пропорціонально квадрату сего времени.

Скорость приобрѣтаемая нисходящею пулею пропорціональна времени протекшему отъ начала ея вылета. Пространство пробѣгаемое нисходящею пулею по причинѣ тяжести пропорціонально квадрату сего времени.

Просто силою называютъ ту, которая единожды оказываетъ дѣйствіе свое, и для которой перейденное пространство пропорціонально постоянной скорости. Живою силою называютъ ускорительную или укоснительную силу, коей мѣра опредѣляется квадратомъ приобрѣтаемой скорости.

Въ какомъ бы положеніи тѣло ни находилось и каковая бы скорость ему сообщена ни была, то нисходя въ продолженіи времени t, оно приобрѣтаетъ скорость v, пропорціональную времени t. Слѣдовательно, если М есть его масса, то оно приобрѣтаетъ количество движенія равное М. v^2, которое и будетъ *живая сила* тѣла М.

Когда заставляютъ тѣло падать, дабы оно приобрѣло силу, которую бы послѣ можно было употребить въ работахъ промышленности, то количество приобрѣтенной силы изображается массою, умноженною на полученную скорость. Что дѣлаетъ на примѣръ въ концѣ

1. 2. 3. 4 . . . . . Секундъ

Digitized by Google

1. 4. 9. 16. . . разъ MX9 метр., 808795

Взимая сіи величины отъ лѣвой руки къ правой получимъ возрастающія живыя силы падающаго тѣла; а бравъ ихъ отъ правой руки къ лѣвой получимъ убывающія живыя силы того же самаго тѣла. Очевидно что разность сихъ силъ при тѣхъ же высотахъ какъ при восхожденіи, такъ и при нисхожденіи онаго одинакова.

Итакъ, когда тѣло свободно падаетъ отъ точки A до B съ приобрѣтенною живою скоростію, то если его бросаютъ снизу вверьхъ съ сею самою скоростію, оно будетъ возвышаться отъ точки B до A, прежде нежели укоснительная сила тяжести исполнитъ все то, что она сперва произвела заставляя тѣло нисходить.

Изъ сего видно, что нельзя извлечь выгоды: 1. изъ силы приобрѣтенной падающимъ тѣломъ, дабы заставить его подняться выше точки своего отбытія; 2. изъ силы потерянной восходящимъ тѣломъ, дабы выиграть въ силѣ удара сего самаго тѣла, если оно должно снова возвратиться въ точку своего отбытія.

Сіи истины весьма просты, однако постигнувъ ихъ мы избѣжимъ множества ложныхъ соединеній и *тщетныхъ изысканій* вѣчнаго движенія.

Когда тѣло, находящееся въ покоѣ будетъ подвержено дѣйствію вѣтра, то сія сила будетъ толкать его возобновляя безпрестанно удары свои до тѣхъ поръ, пока оно неприобрѣтетъ скорость равную скорости вѣтра. Но по мѣрѣ того какъ тѣло будетъ получать болѣе значительную скорость, удары на оное вѣтра будутъ стано-

Digitized by Google

виться меньшими. И такъ, въ семъ случаѣ ускорительная сила не будетъ постоянна, и математическіе законы опредѣляющіе отношеніе времени къ скоростямъ, и перейденнымъ пространствамъ, уже не будутъ столь просты какъ тѣ, которыхъ мы показали доказательства и приложенія относительно къ тяжести (*).

Когда тѣло движется въ воздухѣ, предполагая его тихимъ, или если оно движется въ направленіи противномъ направленію вѣтра, то по мѣрѣ того какъ скорость тѣла увеличивается, тѣмъ болѣе оно будетъ претерпѣвать сопротивленія со стороны воздуха. Итакъ, воздухъ дѣйствуетъ не только какъ постоянная укоснительная сила, но и какъ ускорительная сила, которая болѣе и болѣе возрастаетъ.

Мы болѣе разпространимъ наблюденія сіи (которыя для насъ теперь достаточны), при изъясненіи болѣе частнаго свойства силы воздуха и приложеній его къ промышленности въ III томѣ *о движущихся силахъ, приложенныхъ къ промышленности.*

Теперь остается намъ еще описать третій случай, что мы еще не можемъ сдѣлать; случай сей состоитъ въ томъ, когда первоначальная сила направлена въ сторону различную отъ дѣйствія силъ ускорительныхъ или укоснительныхъ. Тогда тѣло не будетъ проходить по прямой линіи, оно опишетъ кривую линію, которой свойство и кривизна зависятъ отъ закона дѣйствія ускоритель-

(*) Въ послѣдствіи времени мы увидимъ что и самая сила тяжести не есть постоянная въ различныхъ разстояніяхъ отъ центра земли.

Digitized by Google

ныхъ или укоснительныхъ силъ и отъ степени сихъ силъ.

Я описалъ только двѣ силы, силу воздуха и силу тяжести, кои дѣйствуютъ для ускоренія или укосненія движенія тѣлъ. Промышленность употребляетъ большое число другихъ силъ, или лучше, должно преодолѣвать сопротивленіе подобныхъ силъ, дабы получить желаемыя дѣйствія. Я ограничусь описаніемъ нѣкоторыхъ изъ оныхъ.

Корабль, плавающій по водѣ вообще выводится изъ состоянія покоя постоянною силою и получаетъ наибольшую скорость какой онъ только достичь можетъ. Посему онъ постепенно долженъ преодолѣвать сопротивленіе воды, которая здѣсь дѣйствуетъ какъ укоснительная сила. Онъ достигаетъ состоянія единообразнаго движенія тогда только, когда потеря скорости отъ дѣйствія укоснительной силы, совершенно равна приобрѣтенію скорости, которое получается ударяющею силою, предполагаемою возобновляющею дѣйствіе свое въ каждую минуту.

Во всѣхъ родахъ машинъ, различаютъ равнымъ образомъ ударяющую силу, которая ежеминутно прибавляетъ данное количество дѣйствія, для уничтоженія сопротивленій, которыя ежеминутно должны уничтожить сіе самое количество дѣйствія.

Когда начинаютъ приводить въ движеніе машину, то дабы она имѣла оное, ударяющая сила необходимо должна превосходить укоснительную силу. Движеніе ускоряется постепенно до тѣхъ поръ, пока потеря скорости въ каждую минуту, произшедшая отъ сопротивленій, совершенно ра-

Digitized by Google

вна приобрѣтенію скорости отъ ударяющей силы. Когда достигнутъ до сего состоянія, то машина получаетъ единообразное движеніе, таково есть движеніе, служащее для обыкновенныхъ работъ промышленности.

Въ ходѣ машинъ должно весьма различать перемѣнныя движенія, кои начинаются со скоростію нуля и постепенно возрастаютъ до постоянной скорости, которая должна служить для обыкновенныхъ работъ.

Разсматриваніе сіе не составляютъ одинъ только предметъ пустаго любопытства. Въ первой части движенія, часть ударяющей силы употребляется для сообщенія каждой части машины степени скорости, соотвѣтствующей постоянному состоянію обыкновенной работы. Слѣдовательно ударяющая сила должна уничтожить: 1. Силу несамодѣйственности машины; 2. Первыя сопротивленія укоснительныхъ силъ. Если вдругъ сообщить машинѣ постоянную силу, способную даже на время привести ее въ движеніе со всею скоростію, которую она должна имѣть въ обыкновенномъ состояніи, то должно быть мгновенное усиліе, чрезвычайно значительное, дабы вдругъ побѣдить свойственныя сей машинѣ сопротивленія, и тѣ, которыя происходятъ отъ несамодѣйственности ихъ началъ. Можно подвергаться опасности разломать главнѣйшія части, или по крайней мѣрѣ поколебать твердость всей системы. При изъясненіи зацѣпленія зубчатыхъ колесъ, я приложу примѣчательный примѣръ важности таковыхъ наблюденій.

Digitized by Google

ГЛАВА ТРЕТІЯ.

Параллельныя силы.

До сихъ поръ мы занимались разсматриваніемъ силъ, расположенныхъ на одной прямой линіи. Мы видѣли, что дѣйствіе ихъ соединяется или вычитается, смотря потому, дѣйствуютъ ли силы въ одну сторону или въ обратныя.

Равное же дѣйствіе можетъ произойти, если силы будутъ дѣйствовать не по одной прямой, а по параллельнымъ между собою линіямъ.

Такъ напримѣръ, двѣ лошади, запряженныя гуськомъ въ одной прямой линіи произведутъ тоже дѣйствіе, когда бы обѣ онѣ были припряжены къ вагѣ, параллельно между собою; три лошади запряженныя гуськомъ также произведутъ то же дѣйствіе, что и три лошади запряженныя въ одинъ рядъ между собою параллельно, и проч.

Итакъ: 1. многія параллельныя силы въ одну сторону направленныя, производятъ тоже дѣйствіе, что одна сила равная суммѣ ихъ и дѣйствующая въ одну съ ними сторону; сія сила есть ихъ *равнодѣйствующая*.

Если однѣ параллельныя силы тянутъ тѣло впередъ, а другія параллельныя силы тянутъ его назадъ, то дѣйствіе первыхъ приводится къ одной силѣ, равной суммѣ ихъ и вторыхъ также къ одной силѣ, равной суммѣ ихъ; равнодѣйствующая равна разности двухъ суммъ и направляется въ сторону наибольшей.

Digitized by Google

Я представилъ сіи выводы какъ доказательства опытности, я люблю лучше слѣдовать сему ходу, чѣмъ доказательствамъ малоудовлетворяющимъ разсудку. Такъ напримѣръ, я могъ бы сказать вмѣстѣ съ нѣкоторыми авторами, что направленія двухъ параллельныхъ силъ на безконечномъ разстояніи сходятся въ одну точку, и, что въ безконечности онѣ имѣютъ одно направленіе. Но говоря такимъ образомъ, я скажу довольно отвлеченно и удалюсь отъ простоты, что не для всякаго будетъ понятно.

Легко видѣть, что равнодѣйствующая параллельныхъ силъ имѣетъ одно направленіе съ своими составляющими, и что она равна суммѣ силъ, побуждающихъ тѣло двигаться впередъ безъ суммы силъ влекущихъ его назадъ; но не столь легко видѣть, каково должно быть во всѣхъ случаяхъ точное положеніе равнодѣйствующей. Для легчайшаго опредѣленія положенія сего должно прибѣгнуть къ Геометріи.

Геометрія служитъ для представленія пропорціональными линіями не только перейденныхъ или проходимыхъ пространствъ, не только пространствъ, занимаемыхъ машинами или произведеніями промышленности, но и другихъ началъ Механики, которыя кажется не имѣютъ ни чего общаго съ наукою о пространствѣ. Для сего весьма важно прежде всего дать точное о семъ понятіе.

Очевидно, что между продолженіемъ времени и длиною линій нѣтъ ничего общаго. Но раздѣлимъ время на равныя части, напримѣръ на часы. Раздѣлимъ сіи часы опять на равныя части или на минуты, секунды, и проч. Раздѣлимъ прямую или

Digitized by Google

кривую линію также на равныя части, отмѣченныя 1, 2, 3, ..., соотвѣтственно послѣдующимъ часамъ, начиная съ опредѣленнаго времени. Раздѣлимъ каждую часть линіи на столько равныхъ частей, сколько находится минутъ въ часѣ; сіи новыя дѣленія представятъ минуты каждаго часа. Подраздѣлимъ сіи новыя части линіи на столько равныхъ частей сколько въ минутѣ находится секундъ, то полученныя подраздѣленія изобразятъ секунды, и такъ далѣе.

Если я означу всѣ сіи дѣленія цыфрами, то могу представить время: 1. числами; 2 длинами линій; и если я сложу или вычту, умножу или раздѣлю части линій, какъ будто самыя части времени, которыя они изображаютъ, то очевидно, что окончательная линія, выводъ всѣхъ сихъ дѣйствій, означитъ окончательное время, которое надлежало вычислить. Вотъ какимъ образомъ Геометрія служитъ для представленія времени помощію линій.

Лицевая доска (циферблатъ) стѣнныхъ и карманныхъ часовъ, имѣетъ на себѣ градусный кругъ, раздѣленный на двѣнадцать равныхъ частей означающихъ часы, и подраздѣленный еще на шестьдесятъ другихъ равныхъ частей означающихъ минуты. Но поелику единица мѣры часовъ и минутъ не одинакова, то при нихъ находятся двѣ стрѣлки, которыя имѣютъ сіи два движенія; одна называемая часовою, а другая минутною, сія послѣдняя идетъ въ двѣнадцать разъ скорѣе первой.

Въ солнечныхъ часахъ продолженіе времени также изображается помощію Геометріи, а именно:

Digitized by Google

углами. Проводятъ чрезъ центръ часовъ прямую линію параллельную оси земли. Предполагаютъ плоскость, проходящую чрезъ сію линію и центръ Солнца, которое движется единообразно, то углы измѣряющіе его движеніе будутъ также измѣрять и перейденныя пространства.

Подобно временамъ и скорости могутъ быть представляемы также помощія линій. Итакъ [фиг. 1 глава II] высоты OA, AB, BC, ... изображаютъ протѣкшія времена, тогда какъ тѣло пріобрѣтаетъ скорости, представленныя параллельными линіями AI, BII, CIII, ...

Мы также видѣли, что перейденныя пространства изображаются поверхностями.

Если желаютъ чтобы перейденныя пространства были представлены пропорціональными имъ линіями и чтобы времена были также изображены линіями, то скорости составляющія отношеніе сихъ линій, могутъ быть представлены одними только числами.

Силы суть ни времена, ни скорости, ни пространства, но дѣйствующія средства, которыя употребляютъ время, дабы заставить тѣла пробѣгать извѣстныя пространства, въ извѣстныя времена, съ извѣстными скоростями.

Силы, подобно временамъ, скоростямъ и пространствамъ, могутъ быть изображены линіями, имъ пропорціональными и имѣющими направленіе сихъ силъ.

Сіи понятія весьма просты и легки; они ясно показываютъ безчисленную пользу Геометріи. Геометрія служитъ здѣсь для упрощенія сущности Механики и для представленія или изображенія предъ глазами нашими вещей весьма очевидныхъ, но

Digitized by Google

которыя не имѣютъ ничего такаго, чтобы чувства наши могли ихъ постигнуть. Итакъ, хотя мы время не видимъ, не осязаемъ, не слышимъ, но видимъ линіи, точки, цыфры означенныя на часахъ. Посему, Геометрія содѣлываетъ нѣкоторымъ образомъ время для насъ очевиднымъ и позволяетъ его измѣрять. Также мы не можемъ видѣть, слышать, осязать давленія атмосферы; но видимъ раздѣленіе прямой линіи приложенной по длинѣ барометра и такимъ образомъ усматриваемъ измѣненіе давленія атмосферы. Здѣсь также Геометрія содѣлываетъ невидимыя вещи, очевидными для чувствъ нашихъ.

Равнымъ образомъ зрѣніемъ нашимъ мы не можемъ судить о давленіи паровъ въ котлѣ паровой машины; но помощію манометра, который есть ни что иное какъ паровой барометръ, можемъ представлять давленіе сіе линіею, раздѣленною на равныя части. (Смотри III томъ о употребленіи силъ.)

Итакъ, не должно удивляться, что силы изображаются прямыми линіями. Направленіе сихъ линій будетъ направленіемъ, которому слѣдуютъ тѣла подверженныя дѣйствію представленныхъ силъ. Длина линій изобразитъ величину силы. Теперь возвратимся къ испытанію параллельныхъ силъ.

Когда двѣ силы AX и BY [фиг. 1], дѣйствуютъ на концы A и B, линіи AB перпендикулярно къ оной, то очевидно, что прутъ CR, привязанный посрединѣ AB, параллельно симъ силамъ, по причинѣ симметрическаго его въ отношеніи ихъ положенія, долженъ представлять направленіе ихъ равнодѣйствующей. Въ самомъ дѣлѣ, поелику сила правой стороны не болѣе силы лѣвой стороны,

Digitized by Google

то нѣтъ никакой причины, чтобы равнодѣйствующая ихъ была ближе къ правой, чѣмъ къ лѣвой, или ближе къ лѣвой, чѣмъ къ правой.

Если три силы, дѣйствуютъ параллельно направленіямъ AX, BY и CZ (фиг. 2.) и помѣщены въ равныхъ между собою разстояніяхъ, то равнодѣйствующая ихъ будетъ итти по BV, и такъ далѣе. Сіи два случая имѣютъ ихъ употребленіе въ большемъ числѣ мастерствъ.

Когда лошадь тащитъ повозку помощію двухъ постромокъ или двухъ оглобель, симметрически расположенныхъ по правую и лѣвую сторонамъ отъ средины повозки, то она будетъ одинаково тащить какъ правую постромку или оглоблю такъ и лѣвую, итакъ, повозка должна двигаться впередъ по направленію параллельному симъ оглоблямъ или постромкамъ, какъ будто лошадь тащитъ за одну только веревку или постромку помѣщенную въ срединѣ повозки.

Если запряжены двѣ лошади спереди повозки, помѣщенныя въ равномъ разстояніи отъ средины g (фиг. 3), то поелику четыре постромки t, t', t'' t''' симметрически расположены по правую и лѣвую сторонамъ середины: 1. двѣ постромки t и t', имѣютъ своею равнодѣйствующею силу равную $t+t'$; приложенную въ Ee, по срединѣ ваги ab; 2. t'' и t''' имѣютъ своею равнодѣйствующею силу равную $t''+t'''$ приложенную въ Ff, по срединѣ ваги cd; двѣ силы eE и fF сами имѣютъ своею равнодѣйствующею gG, равную суммѣ ихъ то есть равную $t+t'+t''+t'''$ и находящуюся въ равномъ разстояніи отъ eE и fF. Слѣдовательно, линія gG, проходящая чрезъ средину повозки представляетъ направленіе окончательной равнодѣйствующей.

Положимъ, что двѣ не равныя, параллельныя силы aX и bY, тянутъ шестъ ab (фиг. 4], и требуется опредѣлить положеніе ихъ равнодѣйствующей.

Для представленія случая сего положимъ, что xaC и ybC (фиг. 5), суть двѣ призмы или два цилиндра одного вещества, одной высоты и ширины, и при томъ такой длины, что будучи приложены одинъ къ другому концами своими, занимаютъ

Digitized by Google

дважды взятую длину ab; что всегда можно сдѣлать. Положивъ сіе, очевидно что вѣсы $Cax = X$ и $Cby = Y$, ни сколько не измѣнятся, если я повѣшу Cax и Cby горизонтально за средины. Тогда между a и b, будетъ находиться: 1. половина длины меньшей тяжести; 2. половина длины большей тяжести. Но сумма сихъ полудлинъ равна разстоянію ab. Слѣдовательно двѣ тяжести будутъ находиться одна возлѣ другой и составятъ какъ будто одну тяжесть. Положимъ, что они будутъ склеены, отъ чего равновѣсіе ихъ ни сколько не измѣнится; но очевидно, что тяжесть xy имѣющая одинаковую толстоту отъ одного конца до другаго, будетъ въ равновѣсіи, если повѣсить ее за средину. Пусть c будетъ сія средина, то равнодѣйствующая R двухъ силъ X и Y пройдетъ чрезъ точку c.

Если перевернемъ acb однимъ концемъ на другой, то точка c будетъ находиться въ точкѣ C и очевидно, что тогда $bC = ac = bY$,

$$aC = bc = aX.$$

Итакъ точка C упадетъ въ c по срединѣ ab.

Слѣдовательно, *для полученія точки приложенія равнодѣйствующей, должно взять точку c, въ разстояніяхъ отъ aX и bY, пропорціональныхъ силамъ bY и aX.* Я предложу примѣръ сей истины въ запряжкѣ лошадей.

Часто употребляютъ слѣдующій способъ. Запрягаютъ трехъ лошадей X, Y, и Z (фиг. 6) въ рядъ, изъ коихъ Y и Z припрягаются къ вагѣ ab; равнодѣйствующая cR, равная суммѣ ихъ и находящаяся по срединѣ ab, дѣйствуетъ прямо съ силою третьей лошади. Тогда точку E, помѣщаютъ вдвое ближе къ cR нежели къ dX, которая будетъ точкою приложенія силъ cR и dX, а слѣдовательно и окончательной равнодѣйствующей Q. Посему EQ и располагается по направленію продольной оси повозки.

Digitized by Google

Положимъ, что въ фигурѣ 4, сила $R = X + Y$, болѣе и болѣе уменьшаетъ превосходство свое предъ силою Y, поелику сила X болѣе и болѣе уменьшается. Теперь если положимъ, что въ равенствѣ $R \times bC = X \times ab$, R и bC неизмѣняются, то очевидно, что X будетъ тѣмъ болѣе уменьшаться, чѣмъ болѣе ab будетъ увеличиваться. Если силу X будемъ постепенно приводить къ половинѣ, трети, четверти, и т: д: ея первоначальной длины. Но чтобы сохранить тоже произведеніе $X \times ab$, должно разстояніе aC удвоить, утроить, учетверить, и т: д: Какъ бы ab велика ни была, всегда можно опредѣлить малую величину X, которая удовлетворитъ сему равенству, и $R = X + Y$, превзойдетъ всегда Y на малую величину X.

Изъ сего выходитъ весьма примѣчательное свойство, состоящее въ томъ, что если двѣ силы Y и R между собою равны, параллельны и направлены въ противныя стороны, то онѣ не могутъ быть приведены въ равновѣсіе съ третіею силою X. Какъ бы X мала ни была и сколь бы ее далеко не помѣщали, она никогда не будетъ довольно малою и довольно далеко помѣщенною.

Поелику одна сила не можетъ привести въ равновѣсіе двѣ равныя, противоположныя и параллельныя силы, то сіи двѣ силы не могутъ имѣть одной равнодѣйствующей, которая бы понуждала тѣло двигаться въ прямой линіи. Посему двѣ равныя, противоположныя и параллельныя силы, должны производить надъ тѣломъ, къ которому онѣ приложены, дѣйствіе отличное отъ движенія его въ прямой линіи. Законы сего новаго движенія, ко-

Digitized by Google

торое тѣло тогда принимаетъ, будутъ изъяснены въ четвертой главѣ, изъяснивъ прежде все то, что относится къ прямолинейному движенію.

Возвратимся къ дѣйствію равнодѣйствующей параллельныхъ силъ и покажемъ относительно онаго весьма примѣчательное правило. Когда двѣ силы X и Y [фиг. 7], дѣйствуютъ на тѣлъ AB перпендикулярно, то если сіи двѣ силы равно наклонимъ, то есть, сохранимъ оныя параллельными въ X и Y, ихъ равнодѣйствующая R, всегда равная суммѣ ихъ, будетъ имѣть одну и туже точку приложенія C. Итакъ, *положеніе точки приложенія и величина равнодѣйствующей, ни сколько не зависятъ отъ наклоненія параллельныхъ силъ, относительно прямой, къ которой онѣ приложены.*

Сіе свойство движенія, по видимому весьма простое, имѣетъ весьма важные выводы во всей Механикѣ и промышленности; означимъ главные изъ нихъ. Пусть даны три параллельныя силы X, Y и Z [фиг. 8], приложенныя къ тремъ точкамъ ненаходящимся въ прямой линіи; AX, BY и CZ, представляютъ направленія сихъ силъ. Тогда X и Y, будутъ имѣть равнодѣйствующею R, приложенную въ D, равную X+Y, и таковую что будетъ пропорція DA: DB=Y: X. Потомъ, R и Z будутъ имѣть равнодѣйствующею S=R+Z=X+Y+Z, а точка приложенія E равнодѣйствующей S, будетъ такова, что DE: EC=Z: R.

Положивъ сіе, перемѣнимъ вдругъ направленіе всѣхъ силъ, не перемѣняя однако ихъ параллелизма: то поелику положеніе точекъ D и E не зависитъ отъ направленія силъ, явствуетъ, что сіе по-

Digitized by Google

ложеніе останется тѣмъ же. Итакъ, какимъ бы образомъ не измѣняли направленіе параллельныхъ силъ дѣйствующихъ на A, B и C, лишь бы только не была нарушена параллельность ихъ, равнодѣйствующая всегда будетъ имѣть туже точку приложенія E.

Если вмѣсто двухъ силъ, имѣются четыре, пять, шесть и болѣе силъ, то равнымъ образомъ найдется, что точка приложенія всѣхъ силъ неизмѣнится, хотя и измѣнимъ вдругъ направленіе всѣхъ составляющихъ, лишь бы только силы сіи остались параллельными.

Тѣло можно разсматривать какъ собраніе весьма большаго числа маленькихъ матеріальныхъ частей, стрѣмящихся приблизиться къ землѣ дѣйствіемъ силъ, которыхъ направленія почти параллельны; ихъ, безъ чувствительной погрѣшности таковыми разсматривать можно.

Если въ каждомъ положеніи оборачиванія тѣла будемъ искать *точку*, въ которой должна быть приложена сила равнодѣйствующая его тяжести или каждой малой части тѣла, то всегда будемъ находить одну и туже точку: сія примѣчательная точка есть та, которую называютъ *центромъ тяжести*.

Въ семъ свойствѣ тѣлъ можно удостовѣриться опытностію, вѣшая ихъ на ниткѣ въ различныхъ положеніяхъ; очевидно, что нитка будетъ принимать направленіе равнодѣйствующей тяжести всѣхъ частей тѣла, и такимъ образомъ узнаютъ что направленіе оной всегда проходитъ чрезъ одну точку, точка сія есть *центръ тяжести*.

Digitized by Google

Свойства центра тяжести относительно движенія тѣлъ, имѣютъ важныя для художествъ слѣдствія. Положимъ, что тѣло движется по прямой линіи, необращаясь около себя, то каждая изъ малѣйшихъ частицъ онаго будетъ имѣть силу пропорціональную: 1. общей скорости; 2. количеству матеріи, содержащейся въ сей малой частицѣ. Въ разсматриваемомъ нами теперь прямолинейномъ движеніи, каждая малѣйшая частица движется также въ прямой линіи; она побуждается силою, направленною по сей прямой и пропорціо-нальною: 1. ея массѣ; 2. ея скорости. Разсмотримъ, напримѣръ, тѣло длиною въ одинъ аршинъ. Если примемъ сію длину за основаніе трехугольника, котораго вершина находится въ центрѣ земли, то составимъ трехугольникъ, неимѣющій въ основаніи и *трехъ миль оной части* его высоты; два другіе бока, представляющіе направленіе тяжести, не составятъ собою угла равнаго *стотысячной* части градуса: уголъ, котораго наилучшими инструментами измѣрить не возможно. Всѣ сіи силы имѣютъ одну только равнодѣйствующую, параллельную ихъ общему направленію, равную суммѣ ихъ и проходящую чрезъ центръ силъ, который здѣсь есть центръ тяжести тѣла.

Итакъ, *тѣло движется одинакимъ образомъ* то есть *въ прямой линіи и необращаясь:*

1. *Если вдругъ сообщимъ каждой частицѣ тѣла силу, пропорціональную массѣ частицы и имѣющую данное направленіе.*

2. *Если всему тѣлу сообщимъ одну силу, параллельную данному направленію, и проходящую чрезъ его центръ тяжести.*

Digitized by Google

3. *Если сообщимъ тѣлу многія параллельныя силы, имѣющія одну равнодѣйствующую, которая проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла.*

Слѣдовательно, *чтобы движеніе тѣла, идущаго по прямой линіи, совершенно остановить помощію одной силы, то направленіе сей силы должно проходить чрезъ центръ тяжести тѣла.*

Чтобы движеніе тѣла, идущаго по прямой линіи, остановить помощію многихъ силъ, равнодѣйствующая сихъ силъ должна проходить чрезъ центръ тяжести тѣла.

Мы доказали, что если повѣсимъ или поддержимъ тѣло въ одной точкѣ, то условіе равновѣсія состоитъ въ томъ, что центръ тяжести тѣла будетъ находиться на одной вертикальной съ точкою привѣса или подпоры. Слѣдовательно, если хотимъ повѣсить тѣло въ данномъ положеніи, то должно принять вертикальную линію, проходящую чрезъ центръ тяжести сего тѣла и на сей вертикальной помѣстить точку привѣса. Въ главѣ, гдѣ я покажу положеніе центра тяжести квадрата, прямоугольника, ромба, круга, элипсиса, и проч., вы увидите, что рамы, которымъ даютъ сіи формы, и которыя вѣшаютъ въ нашихъ комнатахъ, имѣютъ точку привѣса въ одной вертикальной съ центромъ тяжести рамы. Тоже самое бываетъ въ люстрахъ, привѣшаемыхъ къ сводамъ церьквей, также потолокамъ нашихъ залъ, и при ведрахъ вѣшаемыхъ на веревкахъ для черпанія воды, для спусканія въ рудники.

Познаніе положенія центра тяжести, какъ видно, для художниковъ весьма важно, какъ при ус-

Digitized by Google

танавливанія тѣла, назначеннаго оставаться въ покоѣ въ данномъ положеніи, такъ при сообщеніи тѣлу прямолинейнаго движенія, или при остановленіи движенія тѣлъ.

Человѣческое тѣло, подобно всѣмъ другимъ тѣламъ, имѣетъ свой центръ тяжести. Но сей центръ тяжести перемѣняетъ мѣсто свое, когда человѣкъ перемѣняетъ положеніе какого либо изъ членовъ своихъ или при ношеніи какихъ либо тяжестей. Тогда тѣло человѣка и тяжести, разсматриваемыя вмѣстѣ, имѣютъ центръ тяжести на равнодѣйствующей вѣсовъ человѣка и тяжести.

Когда человѣкъ прямо стоитъ [фиг. 9 и 10], то подошву ногъ его можно разсматривать какъ точку приложенія параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ снизу вверхъ и представляющихъ силу сопротивленія земли, на которой стоитъ человѣкъ. Всѣ сіи силы сопротивленія имѣютъ одну вертикальную равнодѣйствующую, находящуюся въ нѣкоторой точкѣ A. Для равновѣсія, сія равнодѣйствующая должна проходить чрезъ центръ тяжести G, нашего тѣла; иначе оно будетъ увлекаться къ той сторонѣ, въ которой находится его центръ тяжести. Мы непремѣнно упадемъ если не поспѣшимъ привести сей центръ въ одну отвѣсную линію съ равнодѣйствующею силъ сопротивленія, простирая который нибудь изъ нашихъ членовъ въ сторону, противную той, къ которой начинается наше паденіе. Итакъ, центръ тяжести нашего тѣла должно разсматривать почти безпрестанно измѣняю-

Digitized by Google

щимся отъ различныхъ движеній, которыя требуютъ наши нужды и наши удовольствія.

Въ изящныхъ художествахъ и во многихъ отрасляхъ промышленности, весьма важно знать различныя положенія, которыя можетъ принимать нашъ центръ тяжести. Живописцы и скульпторы должны довольно точно знать сіи положенія, дабы не ставить фигуръ такъ, чтобъ человѣкъ не могъ такимъ образомъ не упавъ: погрѣшность сія отнимаетъ всю пріятность въ произведеніяхъ изящныхъ художествъ. Положимъ, что художникъ представляетъ совершенно въ прямомъ положеніи человѣка, несущаго на спинѣ [фиг. 11], [*] довольно большую и тяжелую ношу, тогда онъ погрѣшаетъ противу законовъ Механики и противу истины наблюденія.

Въ самомъ дѣлѣ, равновѣсіе требуетъ чтобъ центръ тяжести *g*, тѣла человѣка и тяжести, соединенныхъ какъ будто въ одно тѣло, былъ въ одной вертикальной линіи съ сопротивленіемъ ощущаемымъ подошвою ноги человѣка. Если же человѣкъ станетъ прямо, то центръ тяжести перейдетъ назадъ за пространство занимаемое подошвою ноги на землѣ, и человѣкъ вмѣстѣ съ ношею упадетъ назадъ.

Носильщики знаютъ сіе механическое дѣйствіе. Посему то они при положеніи на спину тяжестей, склоняютъ впередъ свое туловище, такъ

(*) Во всѣхъ послѣдующихъ изъясненіяхъ и фигурахъ, мы будемъ изображать чрезъ G центръ тяжести человѣка, чрезъ H центръ тяжести ноши и чрезъ *g* центръ тяжести тѣла человѣка и ноши взятыхъ вмѣстѣ.

Digitized by Google

какъ въ фиг. 12, дабы общій центръ тяжести тѣла и ноши былъ приведенъ въ надлежащую вертикальную линію.

Ноша сохраняетъ одинъ и тотъ же вѣсъ, то чѣмъ болѣе центръ тяжести оной удаляется отъ центра тяжести тѣла, тѣмъ болѣе общій центръ будетъ находиться назади, слѣдовательно тѣмъ болѣе носильщикъ долженъ наклоняться впередъ: это заставляетъ иногда принимать весьма не спокойное положеніе и при значительныхъ тяжестяхъ почти не возможное, какъ въ фиг. 12.

Когда тѣло съ одной стороны плоско, а съ другой широко, то носильщикъ прикладываетъ плоскую сторону къ спинѣ, и такимъ образомъ центръ тяжести ноши болѣе склоняется впередъ; а посему онъ менѣе наклоняется.

Ранецъ солдата, прикрѣпляемый къ спинѣ его есть довольно значительная тяжесть. Древніе употребляли выпуклые ранцы, представляющіе неудобство подобное тяжести фиг. 12. Центръ тяжести сего вѣса, будучи далеко назади, заставляетъ пѣшаго солдата на походѣ много склоняться впередъ. Разсуждая о свойствахъ центровъ тяжести, узнали всю выгоду, которую можно доставить солдатамъ помощію плоскихъ, широкихъ ранцовъ (фиг. 13.), которыхъ центръ тяжести менѣе склоняется назадъ, прикладывая ихъ широкою стороною къ спинѣ солдата. Сіе существенное улучшеніе есть весьма легкое, простое приложеніе теоріи центровъ тяжести; однако солдаты тягостно носили весьма дурной фигуры ранцы,

Digitized by Google

почти въ продолженіи двухъ вѣковъ, пока не сдѣлали въ пользу ихъ сего приложенія.

Тяжесть, находящаяся впереди производитъ противное дѣйствіе, заставляя насъ для сохраненія на ногахъ равновѣсія перегибаться назадъ, если не хотимъ быть въ томъ положеніи [фиг. 14], въ которомъ не можемъ стоять не повергая себя опасности упасть.

Разсмотримъ, напримѣръ, разнощицу (фиг. 15 и 4), которой лотокъ помощію ремня горизонтально виситъ передъ нею. Она держится весьма прямо, а туловище и голова подаются назадъ. Часто, упираясь руками въ бока, держитъ локти свои равнымъ образомъ назади: привычка, которую она обыкновенно дѣлаетъ не для того чтобы принять важный видъ, но что бы удобнѣе носить центръ тяжести тѣла и рукъ, также сколь возможно болѣе назади, для противувѣсіе своему лотку.

Чрезвычайно дородные люди [фиг. 17 и 18], также принуждены бываютъ держаться въ положеніи, подобномъ разнощицѣ.

Чтобы носить передъ собою довольно значительныя тяжести, должно ноги болѣе выставлять впередъ, а средину тѣла болѣе подавать назадъ, дабы центръ тяжести сколь возможно болѣе подвинуть назадъ [фиг. 16].

Когда водоносъ [фиг. 20] несетъ въ одной рукѣ ведро, то центръ тяжести его тѣла и ведра, находится уже ни передъ нимъ но позади его, какъ въ предыдущихъ случаяхъ, но на сторонѣ; тогда онъ долженъ перегибаться на противную сторо-

Digitized by Google

ну, что всегда трудно. То же самое бываетъ при ношеніи дитяти на рукахъ (фиг. 19].

Мы избѣгаемъ безполезнаго утомленія, о которомъ только что говорили, равно обременяя двѣ противуположныя части нашего тѣла. Напримѣръ, давая водоносу два ведра [фиг. 22], а нянькѣ двухъ равной тяжести дѣтей [фиг. 21].

Слабыя женщины удобно носятъ наголовѣ своей ноши, часто довольно значительныя [фиг. 25], такъ что центръ тяжести оной находится въ одной отвѣсной линіи съ центромъ тяжести ея тѣла. Тогда центръ тяжести всей системы будетъ гораздо выше, но всегда на той же отвѣсной линіи. Итакъ, для сохраненія своего естественнаго равновѣсія она неимѣетъ надобности склоняться въ ту или другую сторону.

Весьма остроумное механическое изобрѣтеніе состоитъ въ двойныхъ мѣшкахъ. Таковые мѣшки состоятъ изъ двухъ равныхъ мѣшковъ, или изъ одного мѣшка съ прорѣхою въ срединѣ, въ которую продѣваютъ голову [фиг. 24]. Передній и задній мѣшки ровно наполняютъ, отъ чего центръ тяжести не перемѣняетъ своей вертикальной. Итакъ, помощію сихъ мѣшковъ можно носить безъ всякаго труда весьма большія тяжести.

Положимъ, что человѣкъ прямостоящій на ногахъ своихъ, вдругъ станетъ на одну ногу, то если тѣло его останется въ прежнемъ прямомъ положеніи, онъ непремѣнно упадетъ къ сторонѣ поднятой ноги. Но для предупрежденія паденія сего, человѣкъ нагибается не много къ сторонѣ ноги на землѣ стоящей, отъ чего центръ тяже-

Digitized by Google

сти будетъ находиться на вертикальной линіи, проходящей чрезъ часть земли занятой сею ногою.

Вотъ почему, человѣкъ при ходьбѣ попеременно бросается, самъ того не примѣчая, то въ правую, то въ лѣвую стороны, смотря потому подни маетъ ли онъ лѣвую или правую ногу. [фиг. 25]. Сіе попеременное движеніе чрезвычайно примѣтно если встать предъ взводомъ солдатъ и въ прямой линіи съ направленіемъ ихъ марша. Взводъ сей качается при каждомъ шагѣ въ правую и лѣвую стороны. Сіе легкое движеніе на право и на лѣво, зависящее отъ положенія центра тяжести, содѣлываетъ, что двумъ особамъ взявшимся за руки весьма трудно скоро ходить, иначе чтобъ не итти въ ногу. Ибо, въ противномъ случаѣ центръ тяжести одной особы будетъ падать на лѣво, тогда какъ центръ тяжести другой падаетъ на право. Слѣдовательно, когда двѣ внутреннія ноги будутъ находиться на землѣ, то двѣ особы будутъ одна другую толкать; Напротивъ, когда двѣ наружныя ноги будутъ на землѣ, то двѣ особы одна отъ другой станутъ отдѣляться, что обременяетъ ихъ руки.

Тѣже самыя разсужденія, будучи приложены къ пѣшимъ солдатамъ, которые въ дѣйствительномъ порядкѣ должны маршировать касаясь другъ друга локтями, производятъ крайнюю необходимость заставлять солдатъ въ прикосновеніи находящихся ходить въ ногу. Иначе локти никогда бы не могли имѣть сего прикосновенія, поелику корпусъ одного наклонялся бы въ лѣво, когда другаго въ право; тогда бы линія ихъ скоро разорвалась.

Digitized by Google

Но дабы съ самаго начала марша, солдаты имѣли такое согласіе во всѣхъ своихъ движеніяхъ, они непремѣнно должны всегда начинать съ одной ноги: для чего избрана лѣвая. Итакъ, вы видите, что *причина заставляющая солдатъ въ правильныхъ движеніяхъ начинать всегда съ одной ноги, зависитъ отъ теоріи центра тяжести.*

Приложеніе сей теоріи составляютъ также танцы, которые еще болѣе имѣютъ измѣненій нежели ходьба. Очевидно, что здѣсь не мѣсто разбирать правила преподаванія танцмейстеровъ, дабы изыскивать таковыя приложенія. Однако, существуетъ законъ движенія находящійся въ ходьбѣ и въ волтижерскихъ упражненіяхъ, заслуживающій имѣть здѣсь мѣсто.

Положимъ, что танцмейстеръ или волтижеръ поднимаетъ правую ногу, тогда для сохраненія равновѣсія онъ тотчасъ долженъ нѣкоторую часть тѣла своего наклонить къ противоположной сторонѣ; но поелику движенія самаго тѣла должны быть столь малы сколь возможно, и чтобы въ нихъ была ловкость и пріятность, то для сего онъ протягиваетъ лѣвую руку въ лѣво. Если онъ правую ногу перегнетъ назадъ, то лѣвая рука его будетъ вытянута впередъ. Таково положеніе тѣла, превосходной статуи летящаго Меркурія [фиг. 26.]

Противоположеніе движеній рукъ, движеніямъ ногъ, для сохраненія центра тяжести въ одной вертикальной линіи, весьма важно для канатныхъ плясуновъ, танцующихъ безъ шестовъ, которые употребляются для приведенія общаго центра

Digitized by Google

тяжести тѣла и шеста въ одну вертикальную чрезъ веревку проходящую линію.

Я часто видѣлъ скороходящихъ людей, которые слишкомъ махали руками своими и отбрасывали ихъ въ стороны, вмѣсто того чтобы качать ихъ взадъ и впередъ, какъ дѣлаетъ большая часто людей. По наблюденіямъ представленнымъ мною, какимъ образомъ при каждомъ шагѣ, центръ тяжести переходитъ къ сторонѣ ноги, которую ставятъ на землю, видно что руки естественнымъ движеніемъ переносятся къ сторонѣ поднятой ноги, дабы привести центръ тяжести въ направленіе хода. Итакъ, сіи люди ходятъ гораздо правильнѣе нежели другіе.

Разсматриваніе центра тяжести весьма важно для фехтовальнаго искуства. Поелику вѣсъ всего тѣла обыкновенно долженъ находиться на лѣвой ногѣ, остающейся назади, то центръ тяжести всего тѣла долженъ находиться на вертикальной, чрезъ сію ногу проходящей линіи. Условіе сіе, требуетъ держать корпусъ болѣе назади и протягивать назадъ лѣвую руку, для уравновѣшиванія съ правою ногою и съ правою рукою, находящихся впереди. Напротивъ, если центръ тяжести будетъ слишкомъ много выдаваться впередъ, то фехтующій найдетъ большое затрудненіе при движеніи тѣла назадъ, а медленность сего движенія можетъ даже подвергнуть опасности жизнь его.

Въ главѣ, посвященной вращательнымъ движеніямъ мы увидимъ, что центръ тяжести, играетъ тамъ столь же важную ролю, какъ и въ переносныхъ движеніяхъ.

Digitized by Google

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О центрѣ тяжести машинъ и произведеній промышленности; о моментахъ.

Нѣкоторые примѣры, показанные въ предъидущей главѣ, достаточно показываютъ, сколь важно для многихъ художествъ и ремеслъ, умѣть опредѣлять точное положеніе центра тяжести, во многихъ различной фигуры тѣлахъ. Столь же важно опредѣленіе центра тяжести въ неподвижныхъ и подвижныхъ частяхъ машинъ.

При нагрузкѣ двухколесной телѣжки, необходимо должно наблюдать, чтобы тяжесть была ни слишкомъ впереди, ни слишкомъ назади оси. Въ первомъ случаѣ, тяжесть сдавитъ лошадь, или по крайней мѣрѣ заставитъ ее тащить безполезное бремя, которое ни сколько, не уменьшитъ усилія необходимаго для везенія телѣжки. Во второмъ же случаѣ, вѣсъ поклажи позади находящейся, перевѣшивая вѣсъ передней части, заставитъ телѣгу опрокидываться и въ самомъ дѣлѣ опрокинетъ ее назадъ, или по крайней мѣрѣ подниметъ лошадь и отдѣлитъ ее отъ земли. Сіе тягостное усиліе можетъ сдѣлаться даже опаснымъ при всходѣ на весьма крутые спуски или на крутыя горы.

При построеніи, нагрузкѣ и оснасткѣ кораблей, необходимо нужно изчислять центръ тяжести каждой части строенія и каждаго предмета, въ немъ заключающагося, дабы знать центръ тя-

Digitized by Google

жести цѣлаго и дабы увѣриться, что онъ удовлетворитъ условіямъ равновѣсія и остойчивости, какъ изъяснится въ третьемъ томѣ, въ статьѣ о движущихъ силахъ.

Когда равныя вѣсы, разсматриваемые какъ матеріальныя точки, привязать къ двумъ концамъ негибкаго прута, предполагая его не имѣющимъ тяжести, то центръ тяжести совокупности сихъ вѣсовъ, будетъ находиться по срединѣ прямой.

Тяжелая прямая линія AB [фиг. 1], изображенная металлическою проволокою, повсюду равной толщины, имѣетъ центръ тяжести G по срединѣ длины ея. Въ самомъ дѣлѣ, если повѣсимъ сію прямую за средину ея, то не будетъ никакой причины, по которой бы одна сторона сей прямой перевѣшивала другую. Каково бы ни было наклоненіе прямой линіи, но равновѣсіе оной всегда будетъ существовать. Точка, около которой находится сіе постоянное равновѣсіе есть центръ тяжести прямой линіи.

Въ самомъ дѣлѣ, всякому извѣстно, что положивъ палку срединою на палецъ или на какое острее, она будетъ держаться въ равновѣсіи. Она будетъ равнымъ образомъ въ равновѣсіи если повѣсить ее за средину. Говоря о рычагѣ, мы увидимъ, что равновѣсіе вѣсовъ есть приложеніе сего начала.

Теперь положимъ, что требуется опредѣлить центръ тяжести соединенія двухъ прямыхъ линій AB и CD (фиг. 2), единообразно тяжелыхъ по всей длинѣ ихъ, такъ что длины AB и CD представляютъ вѣсы сихъ прямыхъ линій. Можно раз-

Digitized by Google

сматривать вѣсъ прямой AB, какъ будто сосредоточеннымъ въ средину E, а вѣсъ прямой CD, какъ будто сосредоточеннымъ въ средину F. Тогда будемъ имѣть двѣ параллельныя силы, изъ коихъ одна приложена въ E, а другая въ F, и представленныя чрезъ AB и CD. Равнодѣйствующая ихъ изобразится чрезъ AB+CD, которой точка приложенія H, на прямой EF, опредѣлится изъ пропорціи

$$AB : CD = HF : HE,$$

и $AB+CD : AB = EF : HF.$

откуда $HF = \frac{AB \times EF}{AB+CD}$

Но мы умѣемъ находить величину четвертаго члена пропорціи. Смотри Геометрію главу V.

По способу нами теперь показанному, весьма легко опредѣлить центръ тяжести такаго числа тяжелыхъ линій, какаго угодно, бравъ ихъ по двѣ. Пусть требуется, напримѣръ, опредѣлить центръ тяжести прямыхъ линій, образующихъ прямолинейный многоугольникъ ABCD (фиг. 3)? Берутъ точки 1, 2, 3, . . : . . по срединѣ сторонъ AB, BC, CD . . . . . , потомъ на прямой 1. 2, находятъ центръ тяжести x, прямыхъ AB и BC, по показанному выше способу. Проведя x 3 и принимая вѣсъ двухъ прямыхъ линій сосредоточеннымъ въ точкѣ x, центрѣ ихъ тяжести, находятъ точку y, центръ тяжести AB+BC и CD. Такимъ же образомъ опредѣляютъ точку Z, центръ тяжести AB+BC+CD и DA. Точка сія будетъ центромъ тяжести четырехъ прямыхъ AB, BC, CD и DA.

Digitized by Google

Весьма полезно, чтобъ учащіеся упражнялись въ дѣланіи многоугольниковъ ABCD....., изъ желѣзной проволоки, и привязывая къ нимъ шелковинки 1. 2, *x*. 3, *y*. 4, и проч. опредѣляли бы точное положеніе центра тяжести многоугольниковъ. Потомъ, вѣшая многоугольникъ на новой шелковинкѣ, по очереди за точки A, B, O,....., они удостовѣрятся, что отвѣсная линія, составляющая продолженіе шелковинки, на которой повѣшенъ многоугольникъ, всегда будетъ проходить чрезъ центръ тяжести онаго. Такимъ образомъ, они изъ опыта составятъ себѣ о центрѣ тяжести болѣе ясныя и болѣе точныя понятія. Упражненіе сіе научитъ ихъ притомъ весьма полезнымъ дѣйствіямъ и заставитъ ихъ, употреблять геометрическіе способы пропорціональныхъ линій. (Смотри V главу Геометріи.)

Въ курсѣ Геометріи, мы тщательно изслѣдовали фигуру и свойства симметрическихъ поверхностей, и симметрическихъ тѣлъ. Важность формъ симметріи еще болѣе необходима для Механика, чѣмъ для Геометра. Это есть тотъ предметъ, на который не умѣли привлекать вниманіе художниковъ.

Пусть [фиг. 4] какая нибудь фигура ABCDED′C′B′A′, будетъ симметрическая въ отношеніи оси AE. Пусть *g* будетъ центръ тяжести обвода ABCDE, находящагося по лѣвую сторону оси симметріи. Если мы перегнемъ сію лѣвую часть на правую, то онѣ совершенно совмѣстятся. Поелику же онѣ не разнятся теперь между собою ни величиною, ни формою, ни положеніемъ, то оче-

Digitized by Google

видно что и центръ тяжести ихъ долженъ быть въ одной и той же точкѣ. Посему g', центръ тяжести обвода AB'C'D'E, будетъ въ симметрическомъ положеніи относительно g, то есть что g и g', равно удалены отъ оси и находятся на прямой gg', перпендикулярной къ сей оси. Но такъ какъ два симметрическіе обвода ABCDE и AB'C'D'E, равнаго вѣса, то они могутъ быть представлены двумя силами, изъ коихъ одна приложена въ точкѣ g, а другая въ g', а равнодѣйствующая ихъ, равная суммѣ сихъ силъ, должна находиться въ срединѣ линіи gg', то есть въ G, на оси симметріи. Итакъ . . . . .

Центръ тяжести какой нибудь симметрической линіи, необходимо находится на оси симметріи.

Замѣтимъ, что площадь ограниченная симметрическимъ обводомъ, есть симметрическая въ отношеніи той же оси, которая служитъ осью симметріи обвода. Мы можемъ предположить, что обводъ сей ограничиваетъ повсюду равнотяжелую площадь какъ напр. листъ бумаги, металла, и проч. Тогда, если g и g', представляютъ центры тяжести площадей, помѣщенныхъ по правую и лѣвую стороны оси симметріи, прямая gg' будетъ всегда перпендикулярною къ сей оси въ точкѣ G, и Gg будетъ равна Gg'. Слѣдовательно, *центръ тяжести всей симметрической площади находится на оси симметріи.* Итакъ, *если раму какой нибудь фигуры, но симметрическую, повѣсить за точку на оси симметріи взятую, ось сія будетъ всегда въ вертикальномъ положеніи.*

Digitized by Google

Въ самомъ дѣлѣ, вѣсъ фигуры дѣйствуетъ какъ будто онъ сосредоточенъ въ центрѣ тяжести, а вертикальное направленіе сей силы, предполагается проходящимъ чрезъ постоянную точку, въ которой повѣшена или привязана рама. Итакъ, сила уничтожена препятствіемъ, слѣдовательно рама остается въ равновѣсіи.

Наши комнаты обыкновенно украшаются большимъ числомъ рамъ. Какова бы ни была фигура ихъ, но онѣ всегда имѣютъ симметрическую форму: точка ихъ привѣса должна быть помѣщена на оси симметріи, и взору нашему неприятно когда правило сіе въ нихъ не наблюдается.

Дабы утвердить понятія, представленныхъ нами общихъ разсужденій, предложимъ нѣкоторые простые примѣры. Во всѣхъ фигурахъ, о которыхъ будемъ говорить, мы будемъ означать центръ тяжести ихъ буквою G.

Центръ тяжести G, какъ обвода такъ и площади симметрической трехугольной рамы [фиг. 5], находится на вертикальной линіи, проходящей чрезъ вершину A и средину BC, основанія трехугольника ABC.

Повѣсимъ раму сію за вершину A [фиг. 5], или за средину D основанія BC [фиг. 6], то поелику сіи двѣ точки будутъ на оси симметріи, положеніе равновѣсія рамы будетъ состоять въ томъ, что ось AD содѣлается вертикальною.

Повѣсимъ раму ABCD, имѣющую форму симметрической трапеціи: 1. за средину E, ея меньшаго основанія AB (фиг. 7); 2. за средину F, ея большаго основанія CD (фиг. 8). Равновѣсіе будетъ

Digitized by Google

требовать, чтобы ось симметріи EF, на которой находится центръ тяжести G, обвода и площади трапеціи, находилась бы въ вертикальномъ положеніи.

Доказательство, приложенное нами для показанія того, что центръ тяжести обвода и площади, симметрическихъ въ отношеніи оси, необходимо находится на сей самой оси, можно равнымъ образомъ приложить и къ фигурамъ, ограниченнымъ прямыми или кривыми линіями. Изъ сего выходятъ слѣдующія слѣдствія:

Всякая дуга круга ABC (фиг. 9), есть симметрическая въ отношеніи радіуса OB, проходящаго чрезъ средину оной. Итакъ центръ G (*) тяжести обвода и поверхности сей дуги круга будетъ также на радіусѣ OB. Слѣдовательно, если повѣсимъ дугу круга ABC, за ея средину B, то два конца оной A и C, въ положеніи равновѣсія будутъ находиться на одной горизонтальной прямой линіи.

Тоже самое будетъ и для площади сегмента ABC, равно какъ и для площади сектора OABC. Обернувъ фигуру, получимъ второе положеніе равновѣсія [фиг. 10]. Если точка привѣса всегда останется на радіусѣ OB, то радіусъ сей, какъ въ этомъ, такъ и въ предыдущемъ случаѣ сохранитъ вертикальное положеніе.

Поелику парабола и ипербола, суть симметрическія кривыя линіи, относительно оси, проходя-

(*) Должно замѣтить что при дугѣ круга и въ трапеціи, центръ тяжести обвода не будетъ имѣть того же положенія, какъ и площадь.

Digitized by Google

щей чрезъ вершину ихъ, то если отъ вершины B, одной изъ сихъ кривыхъ линій [фиг. 11], возмемъ двѣ части BA=BC, центръ тяжести кривой будетъ на сей оси. Итакъ, повѣсивъ кривую сію за вершину B, она тогда будетъ въ равновѣсіи, когда ось BD, будетъ находиться въ вертикальномъ положеніи.

Есть фигуры, которыя имѣютъ двѣ оси симметріи AB и CD. Таковы суть прямоугольники (фиг. 12 и 13), ромбы (фиг. 14 и 15). Въ сихъ фигурахъ центръ тяжести G, долженствуя находиться на каждой изъ осей симметріи, необходимо будетъ въ ихъ общей точкѣ пересѣченія G, то есть въ центрѣ симметріи.

Итакъ, *центръ тяжести обводовъ и площадей, симметрическихъ въ отношеніи двухъ осей, находится въ пересѣченіи сихъ осей, то есть въ центрѣ симметріи.*

Правильные многоугольники, суть симметрическіе въ отношеніи многихъ осей; отъ чего происходитъ столько различныхъ симметрическихъ точекъ привѣса, сколько находится осей симметріи. Итакъ, *центръ тяжести обвода и площади правильныхъ многоугольниковъ находится въ центрѣ сихъ многоугольниковъ.*

Эллипсисъ (фиг. 16 и 17) есть симметрическая фигура въ отношеніи его двухъ осей AB и CD. Итакъ, *центръ тяжести G, обвода и площади эллипсиса, находится въ центрѣ симметріи сей кривой.*

Кругъ (фиг. 18), есть фигура, симметрическая въ отношеніи каждаго изъ его діаметровъ AB,

Digitized by Google

CD, ... ; итакъ, *центръ тяжести обвода и площади круга, находится въ его центръ.*

Посему, за какую бы точку обвода правильной, многоугольной рамы или эллипсической или круглой, оную ни повѣсили центръ симметріи ея всегда будетъ въ одной отвѣсной линіи съ точкою привѣса.

Центръ тяжести площадей. Для опредѣленія положенія онаго предполагаютъ, что площади сіи подобно плоскимъ листамъ бумаги или металла, повсюду равной толщины и тяжести.

Центръ тяжести трехугольника. Для опредѣленія центра тяжести площади трехугольника ABC [фиг. 19], раздѣляютъ его на большое число весьма узкихъ, параллельныхъ полосъ, которыя разсматриваютъ какъ тяжелыя прямыя линіи; ихъ центръ тяжести, по свойству пропорціональныхъ линій, находится на прямой AE, проходящей по срединѣ ихъ. Итакъ, центръ тяжести G всѣхъ полосъ или всего трехугольника будетъ находиться на прямой AE, проведенной отъ A къ срединѣ BC. Равнымъ образомъ докажется, что онъ будетъ на BF и CK, проведенныхъ отъ B и C, къ срединамъ AC и AB, Итакъ, центръ тяжести трехугольника будетъ въ точкѣ G, общей тремъ линіямъ AE, BF и CK. Поелику точки K и E, находятся по срединѣ AB и BC, то прямая KE будетъ параллельна AC. Теперь по свойству пропорціональныхъ линій (Геометрія глава V) будетъ:

$$1 : 2 = BK : BA = KE : AC = EG : GA$$

Посему $EG = \frac{1}{2} GA$ и $EG = \frac{1}{3} AE$.

Digitized by Google

Итакъ: 1. *Центръ тяжести трехугольника находится на прямой, соединяющей вершину онаго съ срединою основанія; 2.) онъ отстоитъ отъ основанія на одну треть длины сей линіи.*

Центръ тяжести четырехугольника ABCD (фиг. 20). Дабы отыскать оный, сначала опредѣляютъ центръ тяжести трехугольниковъ ABC и ACD, проведя чрезъ средину основанія AC, линіи BE и DE и взявъ $EO = \frac{1}{3}BE$, а $EO' = \frac{1}{3}DE$; потомъ соединивъ точки O и O′ прямою линіею, находятъ равнодѣйствующую двухъ параллельныхъ силъ $F = ABC$, $F' = ADC$, приложенныхъ къ точкамъ O и O′. Точка приложенія G, равнодѣйствующей будетъ центръ тяжести четырехугольника.

Еще легче опредѣлить центръ тяжести четырехугольниковъ, имѣющихъ какую либо правильность.

Въ трапеціи ABCD (фиг. 22), центръ тяжести G, находится на линіи EF, раздѣляющей на равныя части всѣ полосы, образованныя прямыми параллельными основаніямъ.

Площади параллелограммовъ, ромбовъ, прямоугольниковъ и квадратовъ, имѣютъ свой центръ тяжести въ пересѣченіи двухъ діагоналей. (Смотри фиг. 21 14 и 15.)

Въ самомъ дѣлѣ, каждая діагональ раздѣляетъ сіи фигуры на два равные трехугольника, а другая діагональ разсѣкая первую по срединѣ ея, содержитъ центры тяжести двухъ трехугольниковъ. Посему центръ тяжести фигуры находится на второй діагонали. Равнымъ образомъ докажется, что онъ также находится и на первой;

Digitized by Google

итакъ, онъ находится на двухъ діагоналяхъ вмѣстѣ, слѣдовательно, въ общемъ ихъ пересѣченіи.

Если какую либо симметрическую поверхность, плоскую или кривую [фиг. 4], раздѣлимъ на полосы между собою параллельныя и перпендикулярныя къ оси симметріи; то центръ тяжести каждой полосы будетъ на оси или на плоскости симметріи.

Итакъ, центръ тяжести симметрической площади, находится на оси, или на плоскости симметріи.

Когда площадь имѣетъ двѣ оси, или двѣ плоскости симметріи, то центръ тяжести будетъ въ пересѣченіи двухъ осей, который также есть центръ фигуры.

Слѣдовательно, въ плоскихъ площадяхъ имѣющихъ двѣ оси симметріи, центръ тяжести находится въ центрѣ симметріи, какъ мы уже и доказали, говоря о симметрическихъ обводахъ.

Перейдемъ теперь къ кривымъ поверхностямъ.

Кривая поверхность, или составленная изъ многихъ плоскихъ поверхностей, есть симметрическая въ отношеніи оси, когда всѣ сѣченія, сдѣланныя въ сей поверхности, перпендикулярно къ оси, имѣютъ центръ симметріи на сей оси. Объемъ, ограниченный симметрическою поверхностію, равнымъ образомъ есть симметрическій въ отношеніи сей оси.

Если въ поверхности или объемѣ, сдѣлаемъ весьма большое число сѣченій, одно къ другому весьма близкихъ и перпендикулярныхъ къ оси, то сѣченія тѣла можно разсматривать какъ простыя тя-

Digitized by Google

желыя поверхности, которыхъ центръ симметріи будетъ на сей оси. Слѣдовательно, равнодѣйствующая вѣса ихъ, будетъ на сей самой оси, и всѣ сіи равнодѣйствующія пройдутъ чрезъ ось, предполагаемую вертикальною. Итакъ, равнодѣйствующая всѣхъ ихъ будетъ итти понаправленію сей самой оси, посему, наконецъ....

Объемы, равно какъ и кривыя поверхности, кои суть симметрическія относительно одной оси, имѣютъ ихъ центръ тяжести на сей самой оси.

Когда объемъ имѣетъ двѣ оси симметріи, тогда *центръ его симметріи* находится на сихъ двухъ осяхъ, который также есть также центръ тяжести поверхности или объема.

Художества предлагаютъ намъ весьма большое число фигуръ, имѣющихъ ось симметріи: напримѣръ, всѣ поверхности вращенія. Если поверхности сіи повѣсимъ за какую нибудь точку оси ихъ, то положеніе равновѣсія поверхности или объема будетъ то, въ которомъ ось вертикальна.

Люстры, вѣшаемыя на снуркахъ или цѣпяхъ въ домахъ, дворцахъ и храмахъ, суть всегда симметрическія въ отношеніи одной оси. Люстру привязываютъ за одну изъ точекъ сей оси, и въ положеніи равновѣсія ось принимаетъ вертикальное направленіе. То же самое бываетъ и съ *отвѣсомъ* AB (фиг. 18 bis): гирька B есть симметрическое тѣло относительно оси, къ которой привязана нитка.

Digitized by Google

Ось бываетъ вертикальною не только тогда, когда люстра находится въ покоѣ, но и: 1. когда люстра опускается или поднимается, если точка привѣса оной движется вертикально; 2. когда люстра обращается около самой себя. Слѣдовательно, если люстра не получитъ какого нибудь съ одной стороны косвеннаго удара, то она сохранитъ свое вертикальное положеніе.

Тоже самое относится къ *отвѣсу*, и сіе свойство доказываетъ основательность его употребленія.

Въ послѣдствіи вы увидите, что промышленность имѣетъ многія превосходныя примѣненія свойства, которое имѣютъ оси симметріи, содержа въ себѣ центръ тяжести тѣлъ. Прежде нежели пойдемъ далѣе, покажемъ другія весьма важныя свойства параллельныхъ силъ и центра тяжести.

МОМЕНТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХЪ СИЛЪ. Когда двѣ параллельныя силы X и Y (фиг. 24), приложенныя къ двумъ точкамъ A и B, прямой AB, имѣютъ равнодѣйствующую Z, приложенную къ O на линіи AB, то будетъ $X \times OA = Y \times OB$ . . . . . $X : Y = OB : OA$.

Проведемъ mOn, перпендикулярно къ направленію параллельныхъ силъ, то $OB : OA = On : Om$ (Геометрія, *глава* V *о пропорціональныхъ линіяхъ*), слѣдовательно $X : Y = On : Om$ и $X \times Om = Y \times On$

Положимъ, что разстояніе On уменьшается *въ половину*, когда X и Om остаются постоянными, то чтобы неизмѣнить произведенія и чтобы не нарушить равновѣсія, должно предположить, что сила Y дѣлается *вдвое* болѣе.

Digitized by Google

Можно предположить, что разстояніе O*n* дѣлается *въ трое, въ четверо менѣе*, тогда сила Y должна *утроиться, учетверяться*, и т: д: Итакъ, дѣйствіе силы Y на сопротивленіе Z′ равное и противоположное Z, для сохраненія равновѣсіи съ параллельною силою X, возрастаетъ: 1. пропорціонально той же самой силѣ Y; 2. пропорціонально разстоянію O*n* отъ направленія сей силы до точки гдѣ находится сопротивленіе. Сіе произведеніе, измѣряющее дѣйствіе силы на сопротивленіе въ точкѣ O, называютъ *моментомъ* силы въ отношеніи точки O. X×O*m* есть моментъ силы X, равно какъ Y×O*n* есть моментъ силы Y. Условіе равновѣсія X×O*m*=Y×O*n* выражается такъ:

Чтобы двѣ параллельныя силы X *и* Y, *были въ равновѣсіи около сопротивляющейся точки* O, *то моменты сихъ двухъ силъ, взятые въ отношеніи сей точки, должны быть равны между собою.*

Сопротивленіе можно помѣстить также въ точкѣ A (фиг. 24) и разсматривать равновѣсіе двухъ силъ Y и Z′, дѣйствующихъ въ обратныя стороны. Проведя A*pq*, перпендикулярно къ направленію параллельныхъ силъ, будемъ имѣть:

Y : Z′=AO : AB=A*p*; A*q* откуда Y×A*q*=Z′×A*p*.

Итакъ, въ семъ случаѣ какъ и въ предъидущемъ, произведенія моментовъ силъ Y и Z′, уравновѣшивающихъ силы X и Y, равно какъ силы Y и силы Z, равнодѣйствующей силъ X и Y, суть равны между собою.

Теперь проведемъ чрезъ точку A, какую нибудь прямую A*mn* [фиг. 25], а къ оной перпендикуляры

Digitized by Google

Om и Bn. По свойству пропорціональныхъ линій (Геометрія, глава V):

$$Y : Z' = AO : OB = Om : On$$

откуда $$Y \times Bn = Z' \times Om$$

Произведеніе силы Y, на разстояніе ея точки приложенія B, до прямой Amn, и произведеніе силы Z' на разстояніе ея точки приложенія O, до прямой Amn, суть *моменты* силъ Y и Z, *взятые въ отношеніи прямой* Amn, которая называется тогда *осью моментовъ*.

Итакъ: 1. когда ось моментовъ проходитъ чрезъ точку приложенія силы X, уравновѣшивающей параллельныя силы Y и Z', то моментъ силы Y равенъ моменту силы Z', и два момента дѣйствуютъ въ противныя стороны.

Если проведемъ линію LMN, параллельно линіи Amn; потомъ линіи AL, OmM и BnN, перпендикулярныя къ симъ параллельнымъ линіямъ, будетъ

$$AL = Nn = Mm;$$

но $$X + Y = Z';$$

посему $$X \times AL + Y \times Nn = Z' \times Mm.$$

а $$Y \times Bn = Z' \times Om;$$

Слѣдовательно $X \times AL + Y \times Bn = Z' \times Om$.

Итакъ, если возмемъ какую нибудь прямую LMN, за ось моментовъ, то сумма моментовъ двухъ параллельныхъ силъ будетъ равна моменту равнодѣйствующей имъ силы Z', слѣдовательно и моменту силы Z равнодѣйствующей силъ X и Y, ибо $Z = Z'$.

Теперь положимъ, что мы имѣемъ три составляющія силы X, Y и U (фиг. 26). Отнесемъ моменты ихъ къ какой нибудь оси Mm:

Digitized by Google

1. $X \times Ax + Y \times By = Z' \times Dz'$

2. $Z' \times Dz' + U \times Cu = Z \times Ez$

Итакъ $X \times Ax + Y \times By + U \times Cu = Z \times Ez$.

Итакъ, *сумма моментовъ трехъ составляющихъ силъ равна моменту ихъ равнодѣйствующей.*

Равнымъ образомъ докажется, что сумма моментовъ четырехъ, пяти, шести..... однимъ словомъ, всякаго произвольнаго числа составляющихъ силъ, дѣйствующихъ въ плоскости, равна моменту ихъ равнодѣйствующей, каково бы впрочемъ ни было положеніе и направленіе оси моментовъ.

Слѣдовательно, если изъ каждой точки приложенія силъ, проведемъ перпендикуляры къ оси моментовъ, то произведеніе равнодѣйствующей на разстояніе соотвѣтствующее ея точкѣ приложенія, равно суммѣ соотвѣтствующихъ произведеній всѣхъ составляющихъ.

Сіе прекрасное свойство доставляетъ весьма важныя приложенія какъ къ изчисленіямъ движенія тѣлъ, такъ и хода машинъ. Посему весьма существенно, чтобъ учащіеся запечатлѣвъ его въ своей памяти, имѣли бы объ ономъ самое точное понятіе.

Сіе самое свойство служитъ для непосредственнаго опредѣленія положенія точки приложенія, равнодѣйствующей столькихъ параллельныхъ силъ сколь угодно, не бывъ принужденными брать ихъ по двѣ, по три, и проч.

Проводятъ двѣ взаимно перпендикулярныя линіи (фиг. 27); потомъ изъ точекъ приложенія A, B,

Digitized by Google

C, D, ... силъ P, Q, R, S . . . . . опускаютъ на OX и OY, перпендикуляры Aa, Bb, Cc, Dd, ... Aa', Bb', Cc', Dd', ... Пусть G будетъ точка приложенія равнодѣйствующей Z, то

$$Gg \times Z = Aa \times P + Bb \times Q + Cc \times R + \ldots$$

$$Gg' \times Z = Aa' \times P + Bb' \times Q + Cc' \times R + \ldots$$

Откуда

$$\text{(I)}\quad Gg = \frac{Aa \times P + Bb \times Q + Cc \times R + \ldots}{Z}$$

$$\text{(II)}\quad Gg' = \frac{Aa' \times P + Bb' \times Q + Cc' \times R + \ldots}{Z}$$

Припомнимъ, что равнодѣйствующая Z равна суммѣ всѣхъ составляющихъ.

Когда силы P, Q, R, S, ... равны между собою и число ихъ есть n, то ихъ равнодѣйствующая $= n \times P$. Тогда равенство моментовъ даетъ

$$Gg \times Z = Aa \times P + Bb \times Q + Cc \times R + \ldots$$

$$Gg \times n \times P = Aa \times P + Bb \times P + Cc \times P \times \ldots$$

откуда $n \times Gg = Aa + Bb + Cc + \ldots$

Посему $Gg = \dfrac{Aa + Bb + Cc + \ldots}{n}$

Итакъ, *чтобъ опредѣлить разстояніе точки приложенія равнодѣйствующей равныхъ составляющихъ силъ до оси моментовъ, то должно взять сумму разстояній точекъ приложенія каждой изъ составляющихъ до сей оси моментовъ и раздѣлить оную на число сихъ силъ.* Правило сіе имѣетъ большое употребленіе въ художествахъ.

Если три силы, приложенныя къ тремъ вершинамъ A, B и C, трехугольника (фиг. 28), равны силѣ P, и если основаніе AB трехугольни-

Digitized by Google

ка, примемъ за ось моментовъ; тогда разстояніе сей оси до точекъ приложенія силъ приложенныхъ къ вершинамъ A и B содѣлаются нулемъ, равно какъ и произведенія ихъ на силу P. Итакъ, назвавъ равнодѣйствующую чрезъ R, будетъ просто $R \times Gg = P \times Cc$. Но $R = 3P$. Слѣдовательно вставивъ получимъ

$$Gg = \frac{1}{3}\, Cc.$$

Итакъ, *центръ тяжести трехъ равныхъ силъ, приложенныхъ къ тремъ вершинамъ трехугольника, отстоитъ отъ каждаго принятаго основанія на одну треть разстоянія противоположной вершины до сего основанія. Посему центръ сей есть также центръ тяжести площади трехугольника* [*]; слѣдствіе весьма примѣчательное, которое часто имѣетъ приложеніе въ исчисленіяхъ Механики.

Поелику мы имѣемъ разстоянія Gg и Gg' (фиг. 27), точки G до двухъ прямыхъ OX и OY, то будемъ также имѣть и положеніе точки G, центръ приложенія силъ.

По опредѣленію центровъ тяжести, сія точка G есть центръ тяжести силъ P, Q, R, S, ... приложенныхъ къ A, B, C, D, ... [**]

(*) Такимъ же образомъ легко доказать, что *центръ тяжести четырехъ равныхъ силъ, приложенныхъ къ вершинамъ пирамиды, есть также центръ тяжести объема пирамиды.*

(**) Если не всѣ параллельныя силы находятся въ одной плоскости, то оси моментовъ замѣняютъ *плоскостями моментовъ*, также между собою перпендикулярными. Тогда перпендикуляры къ осямъ Aa, Bb, ... замѣняютъ перпендикулярами къ плоскостямъ. Во всѣхъ случаяхъ, сумма моментовъ составляющихъ силъ равна будетъ моменту равнодѣйствующей, что весьма легко доказать помощію свойствъ пропорціональныхъ линій (Геометріи, Глава V).

Digitized by Google

Показанное нами правило и доставляемый имъ способъ, непосредственно приложить можно къ опредѣленію положенія центра тяжести столькихъ силъ, сколь угодно, расположенныхъ въ связи или прерывно, на линіяхъ, поверхностяхъ или объемахъ.

Дабы опредѣлить центръ тяжести тяжелой линіи AB (фиг. 29), раздѣляютъ оную на весьма малыя равнаго вѣса части, помножаютъ каждую изъ оныхъ на разстояніе отъ первой прямой OX, потомъ на разстояніе отъ второй OY. Раздѣляютъ по порядку сумму первыхъ и вторыхъ произведеній на сумму силъ и получаютъ: 1. Gg; 2. Gg′,

Слѣдующіе способы нахожденія центра тяжести поверхностей и объемовъ, необходимо изъяснить должно, только для гаваней.

Корабельные мастеровые имѣютъ надобность изчислять площади парусовъ и означать: 1. положеніе центра тяжести каждаго паруса; 2. центръ тяжести совокупности сихъ парусовъ. Въ самомъ дѣлѣ, чѣмъ болѣе сей послѣдній центръ возвышается надъ центромъ тяжести корабля, тѣмъ болѣе вѣтръ будетъ имѣть силы наклонить и опрокинуть корабль. Принимаютъ, что всѣ паруса вращаясь около ихъ точки привѣса, вдругъ приведены въ плоскость симметріи корабля. Раздѣляютъ сіи паруса на трехугольники, которыхъ опредѣляютъ площади и центръ тяжести. Положимъ (фиг. 27), что параллельныя силы. P, Q, R,..... представляя площади сихъ трехугольниковъ, будутъ приложены къ точкамъ A, B, C,..... центрамъ тяжести сихъ трехугольниковъ; двѣ

Digitized by Google

формулы [I] и [II], дадутъ непосредственно разстоянія Gg и Gg', центра G парусовъ, отъ двухъ осей OX и OY; сего достаточно для опредѣленія положенія центра парусовъ въ плоскости симметріи корабля.

Пусть будетъ дана площадь $AMma$ (фиг. 30), ограниченная кривою AM и тремя между собою перпендикулярными линіями Aa, am и mM, которой требуется опредѣлить моментъ въ отношеніи къ прямой am.

Раздѣлимъ прямую am, на весьма большое число частей, которыхъ широта равна l и проведемъ чрезъ точки дѣленія прямыя Bb, Cc, Dd, ..., параллельно Aa и Mm.

1. Если малыя части AB, BC, CD, ... кривой ABCD ....., примемъ за прямыя линіи, то будетъ: площадь $AamM = l.\ [\frac{1}{2}Aa + Bb + Cc + Dd + \ldots + \frac{1}{2}Mm]$ Теперь фигуру $maABCD$, замѣнимъ фигурою $maAb'Bc'Cd'D$ ....., то центры тяжести q, q', q''..... сихъ фигуръ будутъ отстоять отъ am на количества относительно равныя $\frac{1}{2}Aa$, $\frac{1}{2}Bb$, $\frac{1}{2}Cc$ ....

Посему моменты прямоугольниковъ, составляющихъ вторую фигуру, въ отношеніи оси am, будутъ:

Для $Aabb' = l \times Aa \times \frac{1}{2}Aa$

$Bbcc' = l \times Bb \times \frac{1}{2}Bb$

$Ccdd' = l \times Cc \times \frac{1}{2}Cc$ ....

Общій моментъ $= \frac{1}{2}l\ [Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots + M'm'^2]$

Итакъ *общій моментъ равенъ суммѣ квадратовъ линій* Aa, Bb, Cc, ..., *помноженной на половину широты равныхъ основаній.*

Digitized by Google

Для фигуры $maAa''$ Bb'' Cc''. . . . . M, общій моментъ будетъ

$$\tfrac{1}{2}l \times [Bb^2 + Cc^2 + Dd^2 + \ldots + Mm^2]$$

Вотъ два момента, между коими находится моментъ площади $maAM$.

1. Меньш. момен. $\tfrac{1}{2}l\,[Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots + M'm'^2]$
2. Больш. — — $\tfrac{1}{2}l\,[\quad Bb^2 + Cc^2 + \ldots + M'm'^2 + Mm^2]$

Взявъ средній моментъ, получимъ

$$\tfrac{1}{2}l\,[\tfrac{1}{2}Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots M'm'^2 + \tfrac{1}{2}Mm^2]$$

Итакъ, *моментъ площади* $MmaA$, *равенъ половинѣ широты* l *всѣхъ полосъ, умноженной на сумму квадратовъ промежуточныхъ длинъ* Bb, Cc, . . . *и на половину квадратовъ крайнихъ длинъ* Aa и Mm.

Полученныя величины будутъ тѣмъ болѣе подходить къ истинымъ, чѣмъ больше будетъ число полосъ и слѣдовательно чѣмъ онѣ будутъ уже.

Если опредѣленный моментъ раздѣлимъ теперь на площадь $maAM$, то получимъ разстояніе Gg отъ оси am до центра тяжести G сей площади.

Итакъ, $$Gg = \frac{\tfrac{1}{2}Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots\ldots + \tfrac{1}{2}Mm^2}{Aa + 2Bb + 2Cc + \ldots\ldots + Mm}$$

Дробь сію весьма легко вычислить, только должно имѣть тѣрпеніе.

Равнымъ образомъ величину сію можно бы было получить столь же легко и Геометріею, помощію прямоугольныхъ трехугольниковъ, и по правилу, что квадратъ большей стороны равенъ суммѣ квадратовъ двухъ меньшихъ сторонъ.

Изъ сего видно сколь полезны для рѣшенія вопросовъ, доказанныя нами Геометрическія свойства.

Digitized by Google

Показанный нами теперь способъ есть общій и можетъ быть приложенъ къ поверхностямъ всякаго рода фигуръ.

Положимъ, что требуется опредѣлить разстояніе оси XY отъ центра тяжести G, площади ABC .... M$c'b'$A (фиг. 31). Проведемъ параллельныя равноотстоящія линіи Aa, B$b'b$, C$c'c$, D$d'd$ ..... Пусть G и G′ будутъ центры тяжести фигуръ ma ABCDM и maA $b'c'd'$.... M, то

$$G'g' = \frac{\frac{1}{2}Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots\ldots + \frac{1}{2}Mm^2}{Aa + 2Bb + 2Cc + \ldots + Mm}$$

$$G''g' = \frac{\frac{1}{2}Aa^2 + b'b^2 + c'c^2 + \ldots\ldots + \frac{1}{2}Mm^2}{Aa + 2bb' + 2cc' + \ldots\ldots + Mm}$$

1. Момент. ABCDMma $= \frac{1}{2}l\left[\frac{1}{2}Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots + \frac{1}{2}Mm^2\right]$
2. — — — $a'b'c'$Mma $= \frac{1}{2}l\left[\frac{1}{2}Aa^2 + b'b^2 + c'c^2 + \ldots\ldots \frac{1}{2}Mm^2\right]$

Разность сихъ моментовъ, раздѣленная на разность площадей, то есть, на данную площадь ABCDM$d'c'b'$A, даетъ разстояніе Gg центра тяжести сей площади, до оси моментовъ XY.

Въ 30 фигурѣ весьма легко получить разстояніе Gg' центра тяжести g, относительно оси aA, перпендикулярной къ am.

Если вычислимъ моменты параллельныхъ полосъ, относительно оси Aa, то получимъ

1. Моментъ Aabb' $= \frac{1}{2}l \times l \times Aa$;
2. — — — Bbcc' $= \frac{3}{2}l \times l \times Bb$;
3. — — — Ccdd' $= \frac{5}{2}l \times l \times Cc$ .....

(1) Общ. моменты $= \frac{1}{2}l^2\left[Aa + 3Bb + 5Cc + 7Dd + \ldots\ldots\right]$

Здѣлавъ ступеньчатыя полосы, болѣе непрерывной площади ma ABCDE ....., получимъ:

Моментъ $a''ab$B $= \frac{1}{2}l \times l \times Bb$.

Digitized by Google

Моментъ $b'bcC = \frac{5}{2}l \times l \times Cc$.

— — — $c''cdD = \frac{5}{2}l \times l \times Dd$.

Посему общій моментъ будетъ

(II) . . . . . $\frac{1}{2}l^2\ [Bb + 3Cc + 5Dd + 7Ee + \ldots]$

Взявъ полу-сумму моментовъ (I) и (II), получимъ

(III) $\frac{1}{2}l^2\ [Aa + 2Bb + 4Cc + 6Dd + 8Ee + \ldots]$

Продолжая такимъ образомъ до Mm, которую надлежитъ помножить не на двойное число предшествующихъ полосъ, но просто на число оныхъ.

Моментъ сей (III), раздѣливъ на площадь AB CD . . . . . , получимъ Gg'.

Корабельные мастера имѣютъ надобность вычислять площадь, центръ тяжести и моментъ различныхъ горизонтальныхъ сѣченій подводной части корабля и опредѣлять обводы, называемыхъ ими *ватерлиній и грузовыхъ ватерлиній*. Простѣйшій способъ, который они употребить могутъ, есть показанный нами способъ. Способъ сей также нуженъ Кораблестроительнымъ Инженерамъ и всѣмъ строителямъ коммерческихъ судовъ. Тоже самое должно разумѣть и о способѣ, который мы покажемъ для опредѣленія положенія центра тяжести тѣлъ и момента сихъ тѣлъ.

Отнесемъ положеніе центра тяжести тѣла къ двумъ взаимно перпендикулярнымъ плоскостямъ проэкцій, таковымъ, какія употребляли въ Геометріи. Смотри Геометріи Главу XIII.

Разсѣчемъ тѣло на вертикальныя равной ширины слои I, II, III, ... и на горизонтальныя также равной ширины слои 1, 2, 3, ...

Положимъ (фиг. 31), что площадь ABCD . . . . . есть основаніе прямаго цилиндра, то центръ тяжести цилиндра будетъ горизонтально проэктироваться въ центръ тяжести площади. Предыдущія формулы дадутъ намъ разстояніе центра тяжести сего цилиндра, въ отношеніи двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей.

Digitized by Google

Вообразимъ себѣ, что какой нибудь объемъ, напримѣръ корабль, раздѣленъ на большое число равноотстоящихъ горизонтальныхъ слоевъ, изображенныхъ въ планѣ (фиг. 32). Представимъ себѣ, что поверхность корабля не имѣетъ непрерывнаго вида, а составлена изъ ступеней, которыя какъ будто окружаютъ твердое тѣло; чѣмъ болѣе будетъ число сихъ ступеней, тѣмъ тѣло, имѣющее ступеньчатую поверхность, будетъ менѣе отличаться отъ тѣла, имѣющаго непрерывную поверхность. Наконецъ положимъ, что вертикальная высота ступеней есть h, то:

1. Объемъ каждой ступени будетъ $h\times$ площадь полосы слоя, служащей основаніемъ ступени;

2. Центръ тяжести ступени будетъ горизонтально проэктироваться въ центръ тяжести полосы слоя, служащей основаніемъ сей ступени.

3. Высота h, помноженная на моментъ полосы, будетъ представлять моментъ той ступени, которой основаніе есть площадь сей полосы;

4. Сумма объемовъ ступеней представитъ общій объемъ V предложеннаго тѣла;

5. Сумма моментовъ ступеней изобразитъ моментъ предложеннаго тѣла.

Наконецъ, если моменты взяты въ отношеніи оси OY, а сумма ихъ равна M, то $Gg'=\frac{M}{V}$. Если моменты взяты въ отношеніи оси OX, и сумма ихъ равна m, то $Og=\frac{m}{V}$.

Изъ сего видно сколь простъ и удобенъ способъ сей. Онъ употребляется не одними теоретиками, но полезенъ всѣмъ Инженерамъ, всѣмъ художникамъ, которыя желаютъ съ точностію вычислять положеніе центра тяжести какого либо объема. Повторимъ еще, ученіе сіе въ особенности необходимо для кораблестроителей; оно озаритъ моряковъ превосходными понятіями о качествѣ ихъ строеній, если они толь будутъ знать и будутъ умѣть приложить способъ сей.

Я ограничусь показаніемъ только примѣчательныхъ положеній центра тяжести поверхностей и тѣлъ, которыя важны въ промышленности; оставляя попеченію учащихся, которыя пожелаютъ гораздо далѣе распространить ученіе ихъ,

Digitized by Google

поискать въ другихъ курсахъ, доказательство представленныхъ мною выводовъ.

Центръ тяжести призмы или цилиндра находится въ равномъ разстояніи отъ верхняго и нижняго основаній. Посему, если разсѣчемъ призму или цилиндръ на двѣ равныя части, плоскостію параллельною двумъ основаніямъ, то центръ тяжести сѣченія будетъ центромъ тяжести самой призмы или цилиндра.

Если возмемъ центры тяжести каждаго основанія призмы или цилиндра и соединимъ ихъ прямою линіею, то средина сей линіи будетъ центръ тяжести призмы или цилиндра (*).

(*) Если призма прямая, то плоскость сѣкущая ее параллельно основаніямъ, въ равномъ разстояніи отъ сихъ основаній, есть плоскость симметріи; она содержитъ въ себѣ центръ призмы.

Положимъ, что призма раздѣлена на весьма большое число слоевъ, параллельныхъ основаніямъ, то центры тяжести слоевъ содѣлаются, такъ сказать, центрами тяжести поверхностей оныхъ. Центръ тяжести слоевъ будетъ находиться на прямой параллельной ребрамъ призмы, а центръ тяжести призмы будетъ по срединѣ сей прямой. Если положимъ, что слои скользятъ параллельно одно другому, такъ что центры ихъ остаются въ одной прямой линіи, то составится ступеньчатое тѣло, котораго центръ тяжести будетъ на прямой линіи, соединяющей сіи центры.

Чѣмъ болѣе будетъ число сихъ слоевъ и чѣмъ они будутъ тоньше, тѣмъ ступеньчатое тѣло будетъ болѣе приближаться къ наклонной призмѣ, неизмѣняя однако положенія центра тяжести сего тѣла, который останется въ равномъ разстояніи отъ плоскостей ограничивающихъ крайніе слои.

Итакъ наконецъ, какъ въ прямой такъ и въ наклонной призмахъ, центръ тяжести находится по срединѣ прямой проходящей чрезъ центры тяжести основаній.

Такое же разсужденіе можно приложить и къ прямому цилиндру, изъ котораго увидимъ, что центръ тяжести прямаго

Digitized by Google

Сумма реберъ усѣченной трехсторонной призмы или параллелопипеда, раздѣленная на число реберъ, даетъ разстояніе основанія отъ центра тяжести усѣченной призмы, измѣряя разстояніе сіе прямою параллельною ребрамъ.

Если центръ тяжести основанія пирамиды или конуса соединимъ съ вершиною, прямою линіею потомъ возмемъ четверть сей линіи отъ основанія, или три четверти отъ вершины, то найденная такимъ образомъ точка будетъ центръ тяжести пирамиды или конуса (*).

Центръ тяжести поверхности и толстоты шара, находится въ центрѣ его симметріи.

Центръ тяжести сферической чашечки, находится по срединѣ оси симметріи или стрѣлки чашечки.

или наклоннаго цилиндровъ, находится по срединѣ прямой, соединяющей центры тяжести двухъ основаній.

(*) Раздѣливъ пирамиду на чрезвычайно тонкія слои, плоскостями параллельными основанію, увидимъ, что центры тяжести оныхъ будутъ въ центрѣ тяжести сѣченій параллельныхъ основанію. Но всѣ сіи сѣченія суть подобны, то ихъ соотвѣтствующія точки находятся въ прямой линіи съ вершиною пирамиды, посему всѣ центры сѣченій, а слѣдовательно и самый центръ пирамиды, будутъ на прямой, соединяющей вершину оной съ центромъ тяжести основанія; сіе будетъ справедливо для четырехъ вершинъ и четырехъ противоположныхъ граней.

Пусть g (фиг. 23), будетъ центръ тяжести основанія ABC пирамиды SABC, то $Kg = \frac{1}{3}KB$; равнымъ образомъ если g' есть центръ тяжести грани SAC, то $Kg' = \frac{1}{3}KS$. Слѣдовательно, проведя $g'GB$ и gg', двѣ линіи KS и KB будутъ разсѣчены пропорціонально; итакъ gg' есть треть линіи BS; равно какъ и Kg есть треть KB, а Kg' треть KS. Итакъ, по причинѣ подобія треугольниковъ Ggg' и GBS, $Gg = \frac{1}{3}GS$, слѣдовательно $Gg = \frac{1}{4}Sg$. Посему центръ тяжести пирамиды находится на четверти разстоянія вершины отъ центра тяжести основанія.

Digitized by Google

Центръ тяжести поверхности и толстоты поверхностей вращенія находится на оси симметріи.

Проведемъ сѣкущую плоскость чрезъ ось прямаго круглаго, цѣлаго или усѣченнаго конуса, то въ центрѣ тяжести трехугольника или трапеціи сѣченія, будетъ центръ тяжести поверхности цѣлаго и усѣченнаго конусовъ.

Центръ тяжести толстоты полушара отстоитъ отъ центра на три восьмыхъ радіуса.

Центръ тяжести сегмента параболы, отстоитъ отъ вершины на три пятыхъ стрѣлки.

Центръ тяжести толстоты параболическаго сегмента, произшедшаго отъ обращенія параболы около своей оси, отстоитъ отъ вершины на двѣ трети оси.

Употребленіе центра тяжести для опредѣленія объема или толстоты нѣкоторыхъ тѣлъ.

Теперь надлежитъ изъяснить и доказать превосходное сходство между опредѣленіемъ нѣкоторыхъ объемовъ и центра тяжести нѣкоторыхъ поверхностей.

Положимъ, что мы опредѣлили центръ тяжести G [фиг. 33], поверхности, вращающейся около оси OO. Въ семъ движеніи обводъ O*mn*O, опишетъ поверхность вращенія.

Объемъ, содержимый поверхностію вращенія равенъ площади поверхности O*mn*O, умноженной но окружность круга, описаннаго центромъ G.

Для доказательства, проведемъ чрезъ ось OO′ двѣ плоскости O′*p* и O′*q*, одна къ другой весьма близ-

Digitized by Google

кія и составляющія весьма малый уголъ. Тѣло, между сими двумя плоскостями взятое, можно разсматривать какъ будто ограниченное цилиндрическою стороною. Усѣченный цилиндръ будетъ имѣть основаніемъ OmnO, на плоскости O'p. Разобъемъ основаніе сіе на малые равные квадраты, то каждый будетъ основаніемъ прямоугольной призмы, ограниченной плоскостію O'q.

Пусть $vxyz$, будетъ одинъ изъ сихъ малыхъ квадратовъ, то проведя чрезъ центръ онаго i, линію $ii'i''$ параллельную оси OO, получимъ: объемъ призмы $abcd$, имѣющей основаніемъ $vxyz$, а высотою $i'i''=vxyz\times i'i''$.

Произведеніе сіе есть моментъ площади $vxyz$, перенесенной на плоскость Oq, въ отношеніи къ Op. Посему сумма объемовъ призмъ, то есть, объемъ сѣченія pOq, равенъ суммѣ моментовъ площади OmnO, въ плоскости Oq, относительно плоскости Op.

Проэктируя въ G'g'', центръ тяжести G площади OmnO, будемъ имѣть:

Площадь OmnO$\times$G'G''$=$суммѣ моментовъ площади, помѣщенныхъ на Oq, относительно Op.

Посему произведеніе

Площадь OmnO$\times$G'g'' равно объему части вращенія тѣла, взятой между плоскостями O'p и O'q.

Но G'G'' есть пространство, которое долженъ пройти центръ G, дабы изъ плоскости O'p перейти въ плоскость O'q, когда сіи плоскости предполагаются одна къ другой весьма близкими. Слѣдовательно, наконецъ *площадь* OmnO, *помноженная на пространство* G'G'', *пробѣгаемое ея цен-*

Digitized by Google

тромъ тяжести, когда она вращается около своей оси OO′, *даетъ произведеніе равное объему части тѣла вращенія, взятаго между плоскостями* O′*p* и O′*q*.

Таковыхъ плоскостей, которыя проходятъ чрезъ ось и одна къ другой весьма близкихъ, можно принять столько, сколько угодно; всегда объемъ части тѣла вращенія, содержимаго сими плоскостями, будетъ изображенъ произведеніемъ изъ площади O*mn*O на пространство пробѣгаемое центромъ тяжести сей площади.

Итакъ, *когда тѣло образовано площадью, вращающеюся около оси, то объемъ сего тѣла равенъ произведенію изъ той площади на пространство, пробѣгаемое въ семъ вращеніи, центромъ тяжести площади.*

Предыдущее доказательство останется тѣмъ же если площадь O*mn*O, обращаясь около оси OO′, проходитъ плоскости O′*p* и O′*q*, будетъ потомъ вращаться около второй оси, начерченной на площади, дабы описать большую или меньшую часть новаго тѣла вращенія; потомъ около третьей оси, начерченной на площади, и проч.

Во всѣхъ сихъ случаяхъ, объемъ ограниченный каждою новою поверхностію будетъ равенъ производящей площади, умноженной на пространство, пробѣгаемое центромъ тяжести сей площади.

Приложенія. Сей столь простой способъ употребляется учеными Архитекторами, для вычисленія объемовъ или количества камней, дерева, желѣза, потребныхъ для круглыхъ лѣстницъ, кольцеобразныхъ сводовъ, и проч.; Инженерами Путей-

Digitized by Google

Сообщенія, для вычисленія выемки и насыпки земли при каналахъ и плотинахъ; Артиллеристами, для вычисленія кольцеобразныхъ частей жерла огнестрѣльныхъ орудій, и проч., и проч. Строители кораблей, имѣютъ также много случаевъ употреблять при измѣреніи кубическаго содержанія дерева, показанный нами общій способъ.

Весьма существенно, чтобы вниманіе учащихся было обращено на сіи тѣсныя отношенія свойствъ Механики и Геометріи. Механика безъ Геометріи есть навыкъ безъ теоріи, ученіе безъ свѣта или лучше *невозможное* ученіе. Механика въ свою очередь также доставляетъ и Геометріи важную услугу; она снабжаетъ ее различными инструментами для производства самыхъ нѣжныхъ дѣйствій, способами точными и удобными. Итакъ, постараемся болѣе и болѣе показывать необходимыя отношенія сихъ двухъ прекрасныхъ наукъ, дабы приложить ихъ вмѣстѣ къ промышленности.

Digitized by Google

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Слѣдствіе законовъ движенія.

Мы изслѣдовали законы движенія, произведеннаго силами, направленными по одной прямой линіи. Мы видѣли, что если на одну матеріальную точку дѣйствуютъ двѣ силы, въ продолженіи одного даннаго времени и по одному направленію, то пространство въ теченіи сего времени перейденное, будетъ тоже, когда бы матеріальная точка двигалась сперьва первою силою, а потомъ второю.

Положимъ, напримѣръ, что на кораблѣ, единообразно плывущемъ по вѣтру, идетъ морякъ отъ кормы къ носу онаго также единообразно; положимъ, что въ концѣ даннаго времени онъ достигаетъ носа, слѣдуя направленію хода корабля. Пространство, перейденное морякомъ будетъ тоже, когда бы онъ шелъ отъ кормы къ носу, а корабль въ данное время находился бы въ покоѣ; потомъ оставаясь на кораблѣ въ спокойномъ состояніи, вѣтръ перенесъ его единообразно же, въ продолженіе даннаго времени, съ первональною скоростію корабля.

Въ обоихъ сихъ случаяхъ нетолько перейденныя пространства, но и сила употребленная для движенія человѣка и корабля будутъ одинакія, ибо для движенія сего корабля и моряка, силы болѣе не требовалось, хотя бы движенія ихъ совершались въ одно и тоже время или послѣдовательно.

Поелику въ обоихъ сихъ случаяхъ силы дѣйствовали вдругъ и каждая порознь, то все перейден-

Digitized by Google

ное пространство будетъ составлять сумму двухъ перейденныхъ пространствъ.

Теперь положимъ напротивъ, что между тѣмъ какъ корабль идетъ впередъ, то морякъ возвращается отъ носа назадъ къ кормѣ. Дѣйствіе будетъ такое: 1. когда бы морякъ оставался въ покоѣ, а корабль продолжалъ свое поступательное движеніе; 2. когда бы корабль оставался въ покоѣ, а морякъ возвращался отъ носа назадъ къ кормѣ. Перейденное пространство, когда сіи два движенія производятся вмѣстѣ, равно разности перейденныхъ пространствъ: 1. когда морякъ движется только своею собственною силою; 2. когда онъ движется только тою силою, которая двигаетъ корабль. Сіе свойство матеріи, по которому она въ данное время пробѣгаетъ одно и тоже пространство, когда многія силы дѣйствуютъ вдругъ по одному направленію, и когда каждая сила послѣдовательно дѣйствуетъ въ продолженіе сего самаго времени; сіе свойство, говорю я, принадлежитъ нетолько тѣламъ, побуждаемымъ къ движенію силами направленными по одной прямой линіи, но и вообще, каково бы ни было направленіе силъ.

Желаете ли примѣръ болѣе простой и болѣе близкій къ симъ совокупнымъ движеніямъ? Станьте въ барку, находящуюся въ спокойномъ состояніи и ходите въ оной отъ одного борта къ другому. Когда барка пойдетъ по направленію длины ея, то ваше поперечное движеніе будетъ продолжаться съ такою же скоростію, доколѣ для движенія вашего будете употреблять тоже количество силы.

Digitized by Google

Если вы выстрѣлите изъ ружья или пистолета, отъ одной точки корабля къ другой, то пуля попадетъ въ точку прицѣла, будетъ ли корабль находиться въ покоѣ или въ движеніи, только бы не измѣнилось сіе движеніе во время полета пули, отъ оружія до предмета прицѣла. Посмотримъ какое поправленіе должна принять сія пуля.

Положимъ, что пуля или какое другое тѣло A (фиг. 1), побуждаются двумя силами, представленными стрѣлками AX и AY. Когда первая сила, дѣйствуетъ отдѣльно, то заставитъ тѣло A, въ равныя времена, пробѣгать равныя пространства A*b*, *bc*, *cd*, ..., взятыя на прямой A*x*, въ продолженіи AX. Если бы вторая сила дѣйствовала также отдѣльно, тогда тѣло A въ равныя времена пробѣгало бы равныя же пространства A*b'*, *b'c'*, *c'd'*, ..., взятыя на прямой A*y*, въ продолженіи AY.

Если въ продолженіе перваго времени, дѣйствовала на тѣло одна только сила AX, то она пересла бы его изъ A въ *b*; если потомъ, въ продолженіе такого же равнаго времени подѣйствала на тоже тѣло сила AY, также отдѣльно, тогда бы она заставила его пройти линію B*b*, равную и параллельную линіи A*b'*.

Когда сила AX, дѣйствуетъ отдѣльно въ продолженіе двухъ первыхъ временъ, то переноситъ его изъ A въ *c*; если потомъ сила AY, дѣйствуетъ также отдѣльно въ продолженіе двухъ временъ, равныхъ первымъ двумъ, то она заставитъ тѣло A, пройти линію C*c*, равную и параллельную линіи A*c'*; и такъ далѣе.

Наконецъ, точки A, B, C, D, ..., въ которыхъ находится тѣло, когда каждая изъ силъ AX

Digitized by Google

и AY дѣйствовала по очереди, суть точки, которыя оно достигнетъ, предполагая, что обѣ силы въ продолженіе одного и того же времени начали дѣйствовать вдругъ. Но свойство пропорціональныхъ линій (Геометрія, Глава V) $Ab : bB = Ac : cC = Ad : dD$ . . . . требуетъ, чтобъ точки A, B, C, D, ... были въ одной прямой линіи и чтобъ фигуры $Ab\ Bb'$, $Ac\ Cc$, $Ad\ Dd$, были параллелограммы, имѣющіе діагонали свои на прямой ABCD . . . . . Итакъ, когда на тѣло дѣйствуютъ двѣ силы, то оно движется по прямой линіи и слѣдуетъ по діагонали параллелограмма, котораго каждый бокъ представляетъ пространство, переходимое тѣломъ, когда бы оно было побуждаемо въ тоже время одною только изъ составляющихъ силъ. Итакъ, когда двѣ составляющія силы, по величинѣ и направленію, изображены прямыми линіями Ab и Ab', то равнодѣйствующая ихъ, равнымъ образомъ изобразится по величинѣ и направленію діагоналею параллелограмма $Ab\ Bb'$, котораго Ab и Ab', суть бока. Вотъ что называется *параллелограммомъ силъ*. [*]

(*) Можно строго доказать свойство параллелограмма силъ.

Пусть будутъ представлены линіями AM и AN (фиг. 2) какія нибудь двѣ силы X и Y. На сихъ двухъ линіяхъ окончимъ параллелограмъ AMIN. Приложимъ въ N, на IN и ея продолженіи, двѣ противоположныя силы x и y, равныя силѣ Y; онѣ будутъ взаимно уничтожаться и нисколько не измѣнять равнодѣйствующей силъ X и Y.

Соединимъ теперь X съ x, а Y съ y. 1. поелику S, направленная по HK, есть равнодѣйствующая параллельныхъ силъ X и X, то

$$x : X = AN : NI = AH : HN.$$

Но такъ какъ HK параллельна NI, то по свойству пропорціональныхъ линій (Геометрія, глава V) будетъ: $AN : NI = AH : HK$; отъ чего $HK = HN$. Проведя прямую KNR, получимъ треугольникъ, котораго углы HKN и HNK равны между собою и углу KNL. Итакъ, прямая KNR раздѣляетъ уголъ ANI или YNy на двѣ равныя части. Такъ какъ силы Y и y, равны между

Digitized by Google

Мы безпрестанно находимъ приложенія параллелограмма силъ; мы примѣчаемъ его въ малѣйшихъ движеніяхъ нашихъ членовъ, въ дѣйствіи употребляемыхъ нами инструментовъ и въ нашихъ внѣшнихъ движеніяхъ.

Во всѣхъ случаяхъ, должно строго наблюдать, чтобъ употребляемыя нами составляющія силы были такимъ образомъ направлены, дабы произвели равнодѣйствующую, по тому направленію, которое для насъ необходимо; и чтобъ количество потерянныхъ силъ было сколь возможно наименьшее. Я осмѣливаюсь увѣрить, что ученіе сіе будучи исполнено со вниманіемъ и терпѣніемъ сбережетъ въ мастерскихъ мануфактуръ силу и время, что произведетъ весьма важныя послѣдствія и даже можетъ избавить отъ весьма большихъ опасностей.

собою, то ихъ равнодѣйствующая R идетъ по KNR; поелику нѣтъ причины, покоторой бы она приближалась болѣе къ одной или другой изъ двухъ силъ Y и y. Итакъ съ одной стороны двѣ силы X и Y, а съ другой S и R, имѣютъ одну равнодѣйствующую. Равнодѣйствующая первыхъ двухъ силъ проходитъ чрезъ общую имъ точку A; равнодѣйствующая другихъ двухъ проходитъ также чрезъ общую имъ точку K; посему, наконецъ, равнодѣйствующая силъ X и Y, проходитъ чрезъ A и K, то есть, по діагонали AKI параллелограмма AMIN, коего стороны AM и AN, представляютъ двѣ составляющія силы X и Y

Для опредѣленія величины равнодѣйствующей Z', идущей по направленію AI (фиг. 3), возмемъ Z, ей равную и прямопротивоположную. Тогда силы X, Y и Z', будутъ въ равновѣсіи, и каждая изъ сихъ трехъ силъ равна и прямопротивоположна равнодѣйствующей другихъ двухъ силъ.

Построимъ параллелограмъ, принимая линію AN за одну изъ сторонъ его, такъ чтобы діогональ шла по AM', а другія двѣ стороны были AN и AI'=AI. Если желаете, чтобы AN представляла первую составляющую, AM' направленіе равнодѣйствующей, а вторая составляющая Z' была бы поправлена по AI', то AI' должна быть стороною параллелограмма ANM'I'. Итакъ AI'=NM'=AI. Слѣдовательно, наконецъ, равнодѣйствующая Z=Z' представлена по величинѣ и направленію діагональю AI, параллелограмма AMIN, коего стороны AM и AN, представляютъ двѣ составляющія силы.

Digitized by Google

Достаточно привести одинъ примѣръ, который къ несчастію весьма часто повторяется.

Когда особа, испугавшаяся весьма быстраго движенія экипажа, выскочитъ изъ дверецъ онаго, то на тѣло ея будутъ дѣйствовать: 1. горизонтальное движеніе экипажа; 2. вертикальная сила тяжести. Наклонная равнодѣйствующая сихъ двухъ силъ, почти всегда заставляетъ выпрыгнувшую особу, падать въ то мгновеніе, когда она достигаетъ земли. Поелику діагональ, представляющая равнодѣйствующую сихъ двухъ силъ, дѣйствуетъ наклонно, то она, проходя чрезъ центръ тяжести особы, небудетъ уже проходить чрезъ ноги, если особа держится прямо. Итакъ, чтобъ не упасть, ей надлежало бы туловище свое болѣе наклонить къ сторонѣ, откуда ѣдетъ экипажъ. Незнаніе правила сего и недостатокъ присутствія духа въ минуту опасности, бываетъ причиною, что столько особъ, падая, ломаютъ свои члены и иногда даже платятъ своею жизнію, когда онѣ выпрыгнутъ изъ экипажа, испугавшись быстраго бѣга лошадей въ сей экипажъ впряженныхъ.

Когда двѣ стороны AB и AC (фиг. 4), параллелограмма, равны между собою, что составитъ ромбъ, то уголъ образуемый сторонами его, раздѣляется діаголью на двѣ равныя части. Итакъ, когда двѣ силы равны, то равнодѣйствующая ихъ, раздѣлитъ уголъ сими силами составляемый на двѣ равныя части. Въ самомъ дѣлѣ, очевидно что нѣтъ никакой причины, по которой бы равнодѣйствующая болѣе приближалась къ той или другой изъ составляющихъ.

Digitized by Google

Всѣ птицы, стоя на ногахъ имѣютъ симметрическую фигуру, относительно вертикальной плоскости AD [фиг. 5], идущей отъ головы до хвоста. Летая, онѣ крыльями своими производятъ симметрическія движенія и равномѣрно ударяютъ по воздуху, противудѣйствующему симъ крыльямъ двумя равными силами, симметрически разположенными въ отношеніи плоскости AD. Слѣдовательно, равнодѣйствующая двухъ силъ находится въ сей плоскости и заставляетъ птицу летѣть по направленію сей плоскости.

Поелику правая и лѣвая стороны нашего тѣла суть симметрическія, то при каждомъ симметрическомъ употребленіи нашихъ рукъ и ногъ, для произведенія какого нибудь механическаго дѣйствія равнодѣйствующая усилій сихъ членовъ проходитъ чрезъ плоскость симметріи нашего тѣла.

Разительнѣйшій примѣръ сего дѣйствія можно видѣть изъ упражненій въ *плаваніи*. Дабы плавающій плылъ по пути, направленному въ плоскости симметріи его тѣла, онъ производитъ руками и ногами симметрическія дѣйствія, какъ видно на чертежѣ въ фиг. 6. Сопротивленіе воды противу ладони рукъ и подошвы ногъ, означено стрѣлками *f*, *f*, F, F; а равнодѣйствующія чрезъ *r* и R.

Рыбы, имѣющія симметрическую форму въ отношеніи вертикальной плоскости, проходящей чрезъ голову и хвостъ (фиг. 7), снабжены плавательными перьями, симметрически попарно расположенными по правую и лѣвую сторонамъ. Онѣ передвигаютъ ихъ вмѣстѣ (подобно какъ плавающій человѣкъ дѣлаетъ руками и ногами), такимъ

Digitized by Google

образомъ, что перья сіи съ плоскостію симметріи составляютъ одинъ и тотъ же уголъ. Вотъ почему ихъ равнодѣйствующая находится въ сей плоскости и производитъ прямое движеніе.

Корабли, кои суть искуственные рыбы, имѣть вообще вертикальную плоскость симметріи, проходящую отъ кормы къ носу. Для сообщенія движенія кораблю употребляютъ равныя силы, помѣщая ихъ симметрически съ каждой стороны сей плоскости. Сіе производятъ, то помощію веслъ [фиг. 8], то помощію колесъ съ лопатками, то помощію тяжестей. впроч. Смотри III томъ о употребленіи движущихъ силъ. Если желаютъ чтобъ корабль имѣлъ прямое движеніе, то равнодѣйствующая сихъ силъ, должна находиться въ плоскости симметріи. Плаваніе, произведенное силою боковаго вѣтра, представляетъ намъ постоянное приложеніе разложенія силъ. Пусть AB (фиг. 9), будетъ ось корабля, гдѣ прямая MN представляетъ проэкцію паруса приклоненнаго къ мачтѣ, въ точкѣ O. Пусть OP представляетъ по величинѣ и направленію силу X, которая надуваетъ парусъ. Построимъ прямоугольникъ OCPD, котораго діагональ будетъ OP. Сила OP, разлагается на двѣ другія; первая изъ нихъ есть OC, находящаяся въ направленіи паруса, непроизводитъ никакого дѣйствія для движенія корабля; вторая есть OD, которая будучи перпендикулярною къ парусу, одна только дѣйствуетъ на сей парусъ, мачту и корабль. OD разлагается еще на двѣ другія. Первая OE, идущая по направленію оси симметріи, заставляетъ корабль двигаться; вторая OF толкаетъ его поперегъ и про-

Digitized by Google

изводитъ боковое движеніе, называемое *относомъ*. Строители кораблей и мореходцы, должны такимъ образомъ совокуплять свои чертежи и маневры, чтобъ сила OE производила наибольшій возможный *ходъ*, а сила OF сколь возможно меньшій *относъ*. Когда въ параллелограммѣ ABDC [фиг. 10], уголъ BAC весьма тупъ, то діагональ AD будетъ весьма коротка. Потомъ, помѣрѣ уменьшенія угла BAC, діагональ AD будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока уголъ BAC сдѣлается нулемъ; тогда AC пойдетъ по AB и равнодѣйствующая будетъ равна суммѣ составляющихъ. Итакъ, если уголъ BAC не есть нуль, то равнодѣйствующая силъ AB и AC, никогда не можетъ быть равна суммѣ сихъ двухъ составляющихъ.

Весьма часто употребляютъ свойство равнодѣйствующей AD, уменьшаться по мѣрѣ увеличенія угла BAC. Я представлю вамъ оному весьма простой примѣръ.

Положимъ, что требуется завязать корзинку MM (фиг. 11). Для сего я продѣваю конецъ CA веревки, въ петлю A, сдѣланную при концѣ A веревки BA; потомъ сильно тяну свободный конецъ въ направленіи весьма близкомъ къ AC. Когда въ семъ положеніи я не могу ничего болѣе сдѣлать, то оборачиваю конецъ веревки поперечно въ AD. Если теперь я буду тянуть съ меньшею силою, то произведу уголъ BEC, то есть, точка A будетъ въ C, такимъ образомъ, что образуя параллелограмъ BECF, котораго меньшая діагональ EF, представляетъ меньшую силу руки, уравновѣшивающей большія напряженія BE и EC веревки. Потомъ свободный конецъ веревки обвожу подъ корзину и между EB, EC и ED; наконецъ постепенно натягивая веревку привожу точку E въ A.

Нѣкогда было въ большомъ употребленіи метательное оружіе, называемое *стрѣлою*; ее метали помощію упругаго лука CED [фиг. 12], натягиваемаго тетивою CD. Разсмотримъ дѣйствія сего лука.

Человѣкъ беретъ одною рукою лукъ за E, а другою держитъ толстый конецъ стрѣлы, которымъ натягиваетъ средину F тетивы. Если усиліе, потребное для удаленія точки E отъ F изо-

Digitized by Google

бразимъ чрезъ 2 FG, то усиліе выдерживаемое полутетивами представится чрезъ GD и GC.

Когда рука, находящаяся въ G, оставитъ конецъ стрѣлы, то полутетивы GC и GD, будутъ стрѣмиться принять свою натуральную длину; онѣ подѣйствуютъ на стрѣлу съ равною силою, а посему и заставятъ ее итти по направленію діагонали GFE. Во время вылета стрѣлы, напряженіе каждой полу-тетивы, есть сила которою метается стрѣла, когда длина GC или GD вдвое болѣе GF. Въ самомъ дѣлѣ, GF есть половина діагонали параллелограмма силъ, составленнаго сторонами GC и GD. Но лукъ CED, будучи упругимъ, стрѣмится выпрямиться, тѣмъ съ большею силою, чѣмъ менѣе будетъ уголъ CGD, что еще болѣе увеличиваетъ силу метанія стрѣлы. Способомъ симъ, даже тѣ люди, которые рукою метаютъ стрѣлу только на нѣсколько шаговъ, съ малымъ напряженіемъ могутъ бросать сію стрѣлу на довольно значительное разстояніе, съ такою силою, что ранятъ и убиваютъ человѣка и большихъ животныхъ.

Другой примѣръ покажетъ вамъ всю способность весьма малой силы, дѣйствующей подобно той, которая сгибаетъ тетиву лука.

Чтобъ натянуть струны арфы, дабы онѣ производили надлежащій тонъ, должно употребить ключь, который въ четверо или въ пятеро увеличиваетъ силу руки настройщика. Два сильные человѣка взявши за концы нѣкоторыхъ струнъ, съ трудомъ могутъ натянуть ихъ такимъ образомъ каковы онѣ должны быть на семъ прекра-

Digitized by Google

сномъ инструментѣ. Г. Прони вычислялъ, напряженіе струнъ фортепіано: сумма, которую онъ нашелъ была гораздо болѣе силы четырехъ лошадей. Однако молодая дѣвица, простирая руки подлинѣ струнъ арфы, находитъ въ нѣжныхъ пальцахъ своихъ столько силы, дабы тянуть сіи струны по срединѣ ихъ, такимъ образомъ, что двумя половинами струны образуетъ уголъ; сіи двѣ половины струны составляютъ двѣ стороны параллелограмма [фиг. 15], коего діагональ представляетъ усиліе произведенное пальцами дѣвицы. Когда она отнимаетъ руку, то сіе усиліе сообщаетъ струнѣ сотрясательное движеніе, которое долго издаетъ звукъ, пока его не прервутъ педалью, или изчезнетъ, теряясь въ постепенныхъ звукахъ разыгрываемыхъ піесъ.

До сихъ поръ мы занимались разсматриваніемъ только простаго параллелограмма силъ, то есть, когда имѣемъ только двѣ составляющія и одну равнодѣйствующую.

Теперь положимъ, что имѣются три составляющія силы, дѣйствующія на одну матеріальную точку A [фиг. 14]. Пусть AB, AC и AD будутъ части прямой линіи, представляющія по величинѣ и направленію сіи три составляющія силы. Если по линіямъ AB и AC, какъ по сторонамъ построимъ параллелограммъ, то діагональ AE представитъ величину и направленіе равнодѣйствующей первыхъ двухъ силъ, то есть, тѣло побуждаемое двумя силами AB и AC, или одною силою AE, пробѣжитъ одно и тоже пространство, по тому же направленію и въ тоже самое время. Те-

Digitized by Google

перь, помощію сей равнодѣйствующей AE и третьей силы AD, составимъ параллелограмъ AEFD. Очевидно, что діагональ AF, сего новаго параллелограмма есть равнодѣйствующая силъ AD и AE. Но дѣйствіе силы AE равно дѣйствію силъ AB и AC, слѣдовательно дѣйствіе силы AF равно дѣйствію трехъ силъ AB, AC и AD.

До сего вывода можно достигнуть еще другимъ образомъ. Пусть на тѣло дѣйствуютъ двѣ силы AB и AC, изъ коихъ первая AB, дѣйствуя одна переноситъ его изъ A въ B. Вторая сила AC, дѣйствуя потомъ также отдѣльно переноситъ его изъ B въ E, параллельно AC, такъ что BE=AC. Потомъ третья сила AD, дѣйствуя на него равнымъ образомъ отдѣльно перенесетъ его изъ E въ F, такъ что EF=AD. Наконецъ тѣло достигнувши F, чрезъ постепенное дѣйствіе трехъ силъ, будетъ совершенно въ той точкѣ, когда бы сіи три силы дѣйствовали на него въ одно время.

Сіе новое построеніе отъ предыдущаго тѣмъ только отличается, что гораздо проще: ибо не имѣетъ 3 и 4 сторонъ параллелограммъ фигуры 14.

Если на матеріальную точку, дѣйствуетъ какое нибудь другое число силъ OA, OB, OC, ... [фиг. 16], то она будетъ перенесена въ данное время на такое же разстояніе, когда бы всѣ силы дѣйствовали отдѣльно и попорядку, перенося сію точку по собственному ихъ направленію и въ продолженіе того же самаго времени. Тогда проведемъ постепенно линіи *Ab*, *bc*, *cd*, ..., параллельныя и равныя длинамъ OB, OC, OD, ... Потомъ соединимъ первую точку O съ послѣднею

Digitized by Google

e, то O*e* будетъ равнодѣйствующая всѣхъ составляющихъ, изображенныхъ чрезъ OA, OB, OC, OD, ... Итакъ, заключивъ прямою O*e* многоугольникъ OA*bcd* . . . . . *e*O, сія прямая представитъ равнодѣйствующую, когда каждыя другія стороны представляютъ составляющія силы.

Если теперь равнодѣйствующую O*e* обернемъ въ O*e*′, то сія сила содѣлаясь прямо противоположною составляющимъ силамъ, будетъ съ ними въ равновѣсіи Изъ сего выходитъ сія прекрасная теорема, которою мы обязаны Лейбницу: *сколько бы не было силъ приложено къ одной матеріальной точкѣ, если сіи силы могутъ быть изображены по величинѣ и направленію, въ соотвѣтственномъ имъ положеніи, боками какого либо многоугольника, правильнаго или неправильнаго, но полнаго и сомкнутаго, то всѣ сіи силы необходимо будутъ въ равновѣсіи.*

Въ многоугольникѣ MNPQRS [фиг. 17], находимъ входящій уголъ Q. Уголъ сей необходимъ для образованія многоугольника, поелику направленіе стрѣлки QR, означаетъ направленіе, по которому должно дачертить сторону QR, дабы всѣ силы, долженствующія быть въ равновѣсіи, слѣдовали въ одну сторону. Наконецъ, каждая сторона представляетъ величину и направленіе силъ.

Разсматриваемый нами способъ составленія силъ, имѣетъ ту выгоду, что можетъ быть равнымъ образомъ приложенъ какъ къ силамъ дѣйствующимъ въ одной, такъ и въ разныхъ плоскостяхъ, что во многихъ случаяхъ бываетъ чрезвычайно важно.

Изъ сего слѣдуетъ, что если силы OA, OB, OC,

Digitized by Google

OD, ... (фиг. 16), не всѣ находятся въ одной плоскости, то стороны многоугольника OA*bcd* . . . . . , относительно параллельныя направленіямъ сихъ силъ, также небудутъ въ одной плоскости. Но равнодѣйствующая O*e* всѣхъ сихъ силъ, все таки, по величинѣ и направленію будетъ изображаться линіею O*e*, проведенною отъ точки O, начала многоугольника OA*bcd* . . . . . , до точки *e*, гдѣ оканчивается послѣдняя изъ сторонъ представляющихъ составляющія силы.

Сколь просто и легко построить на бумагѣ или на землѣ, многоугольникъ OA*bcd* . . . . . , когда сей многоугольникъ находится въ одной плоскости, столь будетъ трудно и сложно построеніе, онаго если всѣ стороны, составляющія многоугольникъ немогутъ быть въ одной плоскости.

Хорошо, что наставленія изложенныя нами въ I томѣ, во II, VII и XIII главахъ, предлагаютъ весьма краткія и весьма точныя средства опредѣлять направленіе и величину равнодѣйствующей, каково бы не было число, направленіе и величина составляющихъ силъ. Чтобъ получить проэкцію линіи MN (фиг. 18), на плоскости находящейся, относительно двухъ осей OX и OY, то изъ двухъ оконечностей оной должно опустить перпендикуляры на оси проэкцій: части *mn* и *m'n'*, заключающіяся между сими перпендикулярами будутъ искомыя проэкціи.

Продолживъ *m*M до A и *m'*M до B, получимъ параллелограммъ MANB, въ которомъ MN можемъ разсматривать какъ равнодѣйствующую составляющихъ силъ, представленныхъ чрезъ MB=*mn* и MA=*m'n'*, поелику сіи послѣднія линіи суть па-

Digitized by Google

раллельныя, взятыя между другими параллельными линіями. Геометрія, II Глава.

То, что я сказалъ объ одной силѣ, можно сказать о двухъ, трехъ, четырехъ, и о всякомъ другомъ числѣ силъ, каковы бы не были ихъ величина и направленія, каждая изъ оныхъ будетъ представлена ея двумя проэкціями на двухъ между собою перпендикулярныхъ осяхъ.

Если бы мы имѣли какое нибудь число силъ, такихъ какъ MN, NP, и проч. (фиг. 18), то должно взять проэкціи ихъ на двухъ взаимно перпендикулярныхъ осяхъ; потомъ, разсматривать, съ одной стороны, что будто тѣло двигается по OX, силами mn, np, pq, ..., а съ другой стороны по OY, силами $m'n'$, $n'p'$, $p'q'$, ...; происходящее дѣйствіе будетъ всегда тоже. Очевидно, въ самомъ дѣлѣ, что прямая MQ, заключая многоугольникъ MNPQ, представляетъ равнодѣйствующую силъ MN, NP, PQ, и что сія равнодѣйствующая имѣетъ проэкціями mq и $m'q'$, сумму или разность частныхъ проэкцій. Теперь, когда силы mn, np, pq ....., $m'n'$, $n'p'$, $p'q'$ ....., дѣйствуютъ по одной прямой линіи, то: 1. равнодѣйствующая ихъ направлена по сей же прямой линіи; 2. она равна суммѣ всѣхъ силъ направленныхъ въ одну сторону, безъ суммы тѣхъ силъ, которыя направлены въ противную сторону. Нѣтъ ничего легче, какъ сдѣлать таковое раздѣленіе.

Пусть (фиг. 17) будетъ собраніе какихъ нибудь силъ, представлено прямыми MN, NP, PQ,..... Проэктируя сіи прямыя линіи на ось OX, въ mn, np, pq,.... Мы увидимъ, что силы pq и rs, толкаютъ тѣло въ сторону противную силамъ mn, np, pq,..... Итакъ, равнодѣйствующая будетъ $mn+np+qr$ безъ $pq+rs$. Очевидно, что $mn+np$ безъ pq есть mq, а qr безъ rs есть qs. Посему,

Digitized by Google

общая равнодѣйствующая есть *mq* безъ *qs*; то есть, *ms*. Сія часть оси есть въ самомъ дѣлѣ проэкція линіи MS, которая замыкаетъ многоугольникъ силъ, а слѣдовательно и представляетъ равнодѣйствующую силъ MN, NP, PQ, ...

Если всѣ силы MN, NP, PQ, ... (фиг. 18) находятся въ плоскости осей OX и OY, то движенія производимыя точкою M на двухъ осяхъ проэкцій, совершенно представятъ движенія совершаемыя точкою M, побуждаемою составляющими силами MN, NP, PQ, ... ; но если силы ненаходятся въ плоскости двухъ осей, то должно принять три между собою перпендикулярныя оси. Напримѣръ, можно взять одну вертикальную а двѣ горизонтальныя, изъ коихъ одна направлена отъ сѣвера къ югу, а другая отъ востока къ западу.

Тогда изъ двухъ оконечностей каждой прямой линіи, представляющей силу, опустивъ на оси перпендикуляры, проэкціи оныхъ представятъ таковыя три силы, что матеріальная точка движимая постепенно по направленію каждой изъ оныхъ, придетъ напослѣдокъ въ то самое положеніе, въ какое бы она была проведена отдѣльною первоначальною силою.

Подобно тому какъ параллелограмъ содѣлываетъ намъ очедиднымъ разложеніе и составленіе двухъ силъ на плоскости, можно употребить параллелопипедъ для изъясненія разложенія и соединенія трехъ силъ въ пространствѣ. Смотри Геометрію главу VII, о параллелопипедахъ.

Проведя изъ угла A (фиг. 19), въ противоположный уголъ G, діагональ AG, будетъ очевидно, что если я возьму сію діагональ съ тремя сторонами AB, AC=BE, AD=EG, то получу сомкнутый со всѣхъ сторонъ многоугольникъ ABEGA.

Digitized by Google

Итакъ, я могу разсматривать многоугольника сего сторону AG, какъ представляющую по величинѣ и направленію силу AG, которая уравновѣшиваетъ три силы, относительно изображенныя по величинѣ и направленію чрезъ AB, AC и AD.

Такъ, напримѣръ, если сила AG достаточна для перенесенія въ данное время точки A въ G; то въ тоже самое время, сила AB, перенесетъ точку A въ B; потомъ въ такое же время, сила AC, перенесетъ точку A, изъ B въ E; наконецъ, въ равное же время сила AD, перенесетъ точку A, изъ E въ G. Итакъ, три силы, представленныя чрезъ AB, AC, AD, дѣйствуя вдругъ перенесутъ тѣло изъ A въ G, въ тоже самое время, когда бы каждая изъ сихъ силъ дѣйствовала отдѣльно, или когда дѣйствовала бы одна равнодѣйствующая AG.

Замѣтьте, что назвавъ осями проэкцій прямыя AB, AC и AD, части AB, AC, AD, на сихъ осяхъ взятыя, будутъ проэкціи діагонали AG, то есть, равнодѣйствующей сихъ трехъ силъ.

Изысканія мои, можетъ быть вамъ покажутся нѣсколько длинными, но я долженъ былъ непремѣнно сдѣлать сіе, дабы вы нашли, сколь просты тѣ свойства, которыя такъ пугаютъ особъ начинающихъ учиться сей наукѣ.

Если каждую изъ силъ, дѣйствующихъ на тѣло, разложимъ на двѣ другія, параллельныя двумъ даннымъ осямъ, или на три другія, параллельныя тремъ даннымъ осямъ, то получимъ собраніе такого числа силъ, параллельныхъ каждой оси, сколько находится различныхъ, дѣйствующихъ на тѣло силъ, какова бы ни была величина и направле-

Digitized by Google

віе оныхъ. Итакъ, дѣйствіе силъ, которыя хотя въ направленіи ихъ и неимѣютъ никакого сходства, приводится непосредственно къ испытанію дѣйствія параллельныхъ силъ.

Если всѣ параллельныя силы, полученныя чрезъ показанное теперь разложеніе, имѣютъ одну равнодѣйствующую, проходящую чрезъ центръ тяжести тѣла, то онѣ заставятъ тѣло двигаться по прямой линіи и необращаясь: такимъ образомъ, какъ будто онѣ приведены къ одной силѣ, равной суммѣ ихъ и параллельной ихъ общему направленію.

Если всѣ силы имѣютъ равнодѣйствующую, которая не проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла, то она заставитъ его обращаться. Должно испытать каково будетъ движеніе сіе. Положимъ, что сила AX непроходитъ чрезъ центръ тяжести G [фиг. 20]. Пусть GA, будетъ перпендикуляръ, проведенный изъ точки G къ направленію AX сей силы. Мы ничего неизмѣнимъ въ движеніи сего тѣла, если приложимъ къ оному силу G*x*, параллельную и равную AX, и двѣ силы *ay* и AG, параллельныя G*x* и направленныя въ противную сторону, изъ коихъ каждая равна половинѣ G*x*, и такъ помѣщенныя, что GA=G*a*, поелику G*x* уравновѣшиваетъ *ay* и AG. Такъ какъ AG, есть половина AX и направлена въ противную сторону, то она уничтожаетъ половину AX. Слѣдовательно тѣло принуждено двигаться тремя силами: 1. G*x*, проходящею чрезъ центръ тяжести тѣла,=AX; 2. Половиною AX, дѣйствующею въ сторону AX; 3. *ay* равною половинѣ AX и дѣйствующею въ противную сторону.

Двѣ равныя силы ½AX и *ay*, будучи равно уда-

Digitized by Google

лены отъ центра тяжести G тѣла, заставятъ обращаться сей центръ тяжести, не передвигая его ни къ той, ни къ другой сторонѣ, поелику нѣтъ причины, по которой бы изъ двухъ равныхъ параллельныхъ силъ и направленныхъ въ противныя стороны, одна могла превосходить другую. Итакъ: 1. Отъ дѣйствія силъ $\frac{1}{2}$ AX и *ay*, центръ, тяжести не идетъ ни впередъ, ни назадъ; 2. дѣйствіемъ силы G*x*, центръ тяжести идетъ по прямой линіи, по причинѣ дѣйствія силы равной и параллельной AX.

Слѣдовательно, когда на тѣло какой нибудь фигуры, дѣйствуетъ какое нибудь число силъ, то: 1. если разложимъ всѣ сіи силы параллельно двумъ осямъ; 2. если опредѣлимъ общую равнодѣйствующую силъ, чтобы перенести оную параллельно центру тяжести: сей центръ тяжести будетъ двигаться въ прямой линіи, какъ будто всѣ силы непосредственно были приложены къ сему центру тяжести. Таково есть весьма примѣчательное правило сохраненія центра тяжести, обладаніемъ котораго оно наичаче обязано сему другому свойству, что *всѣ внутреннія движенія, произведенныя въ тѣлѣ дѣйствіемъ и противудѣйствіемъ различныхъ частей сего тѣла, ни сколько неизмѣняютъ движенія центра тяжести, относительно внѣшнихъ точекъ пространства.*

Биліардная игра представляетъ намъ различные весьма разительные примѣры свойствъ движенія, впечатленнаго тѣламъ, дѣйствіемъ силы непроходящей чрезъ центръ тяжести сихъ тѣлъ. Ударимъ биль, только не по направленію его центра, а напримѣръ съ правой стороны, тогда: 1. биль

Digitized by Google

покатится съ тою скоростію, которую бы онъ получилъ отъ удара по направленію его центра: 2. двигаясь впередъ онъ будетъ имѣть вращательное движеніе отъ правой стороны на лѣвую. Если ударимъ биль выше его центра тяжести, то онъ равнымъ образомъ будетъ двигаться впередъ съ тою скоростію, какъ будто ударъ былъ въ направленіи центра, и, продолжая движеніе будетъ обращаться съ верху въ низъ. Дѣйствіе будетъ противное если ударимъ биль, или съ лѣвой стороны, или ниже его центра тяжести.

Если ударимъ биль ниже его центра тяжести, то сопротивленіе отъ трѣнія сукна о биль увеличивается. Когда ударимъ биль, направляя кій съ верьху въ низъ, то онъ будетъ двигаться тише нежели при дѣйствіи кія параллельно биліарду; тогда скорость вращенія можетъ взять верьхъ до того, чтобъ не быть во все уничтоженной отъ сего тренія, когда наступательная скоростъ биля уже уничтожена. Сопротивленіе сукна дѣйствуетъ всегда какъ удерживающая сила, отъ чего одна часть сего сопротивленія будетъ уменьшать скоростъ вращенія биля, а другая будетъ дѣйствовать какъ будто бы она перенесена въ центръ биля, который она удерживаетъ. Это точно такъ, какъ будто однимъ ударомъ кія, можно заставить биль итти впередъ, а потомъ назадъ.

Явленія подобныя дѣйствіямъ балліарда примѣчаются при полетѣ пушечныхъ ядеръ и бомбъ; они производятъ особенныя выводы, коихъ ученіе весьма важно въ военномъ искуствѣ. Ученіе сіе, составляетъ предметъ науки, называемой *Баллистикою*.

Digitized by Google

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Простыя машины: веревки, висячіе мосты, оснастка судовъ.

Машиною, называютъ совокупленіе матеріальныхъ частей, способное къ передачѣ какой либо силы, чрезъ перемѣну ихъ направленія, или скорости, или пройденнаго въ данное время пространства.

Простыхъ машинъ, служащихъ для составленія всѣхъ прочихъ считаютъ семь, кои суть: веревки, рычагъ, блокъ, воротъ, наклоненная плоскость, винтъ и клинъ. Мы покажемъ каждую изъ оныхъ во всемъ пространствѣ, котораго требуетъ важность предмета. Разсмотримъ ихъ теперь по порядку.

I. Веревки.

Дабы ученіе о веревкахъ, употребляемыхъ для передачи силъ сдѣлать проще, то Геометры предположили, что они гибки, не тягучи и неимѣютъ тяжести. Потомъ, когда нужно будетъ ввести въ разсматриваніе ихъ большее или меньшее напряженіе, ихъ тяжесть или тягучесть, они вычисляютъ [основываясь какъ на теоріи, такъ и на опытахъ], какое измѣненіе можетъ произойти въ первоначальныхъ выводахъ, отъ свойства матеріи, изъ коей составляются веревки.

Сей способъ достигать рѣшенія сложнѣйшихъ предложеній, приводя ихъ сперьва къ простѣйшимъ

Digitized by Google

началамъ, есть весьма замысловатый; онъ помогаетъ слабости нашего разума, и удвояетъ способность нашихъ средствъ дѣйствій. Мы будемъ слѣдовать сему ходу, при испытаніи свойствъ веревокъ и другихъ простыхъ машинъ.

Итакъ, представимъ, что веревки совершенно гибки, нетягучи и неимѣютъ тяжести.

Начнемъ приложеніемъ къ двумъ концамъ веревки по одной равной силѣ, кои тянутъ се въ противныя стороны. Дѣйствіемъ сихъ силъ веревка вытянется въ прямой линіи, коей оба конца будутъ находиться одинъ отъ другаго въ возможно большемъ разстояніи. Тогда двѣ силы будутъ въ равновѣсіи, поелику нѣтъ причины, по который бы равномѣрно обѣими концами тянутая веревка, приближалась болѣе одной, чѣмъ къ другой сторонѣ. Заставимъ теперь третію силу тянуть веревку въ направленіи одной изъ первыхъ двухъ силъ, напримѣръ со второю. Поелику дѣйствіе первой силы уничтожается дѣйствіемъ противоположной второй силы, то веревка будетъ двигаться въ сторону третьей силы, какъ будто первыя двѣ во все недѣйствовали. При семъ движеніи, производимомъ по направленію веревки, она останется въ прямой линіи. Третія сила будетъ только тащить веревку; а первыя двѣ находясь въ равновѣсіи, дадутъ сіе равновѣсіе, производя въ веревкѣ напряженіе, изображающееся, каждою изъ сихъ двухъ силъ.

Поелику выводы, до которыхъ мы достигли будутъ тѣ же, какова бы не была длина веревки,

Digitized by Google

то выходитъ, что напряженіе оной въ каждой изъ ея точекъ C, A..... будетъ тоже.

Въ самомъ дѣлѣ, чтобъ опредѣлить напряженіе веревки въ какой нибудь точкѣ C [фиг. 1], можно представить что къ оной приложены двѣ силы AX и BY; равнымъ образомъ для узнанія напряженія въ точкѣ A, можно предположить, что двѣ силы AX и BY, приложены въ точкѣ A. Поелику же, дѣйствіе двухъ силъ неизмѣнится, какова ни была ихъ точка приложенія, то ясно, что напряженіе веревки въ какой нибудь точкѣ C [какъ мы выше видѣли] будетъ тоже, что и при концѣ оной A; итакъ оно одинаково во всѣхъ частяхъ веревки.

Теперь, положимъ, что веревка имѣетъ повсюду постоянную силу, исключая одной точки, которая слабѣе прочихъ. Увеличивая постепенно на одинаковое количество двѣ противоположныя силы, достигнемъ до того, что напряженіе веревки [предполагая его во всѣхъ прочихъ точкахъ одинаковымъ] во всѣхъ точкахъ, исключая одной слабой, будетъ не много превышать силу, отъ которой она должна разорваться. Итакъ, веревка въ сей слабой точкѣ непремѣнно разорвется и равновѣсіе рушится.

Способъ сей, есть совершенно тотъ, который употребляютъ въ художествахъ для измѣренія *силы веревокъ*. При употребленіи веревокъ для привязыванія или привѣтиванія тяжелыхъ предметовъ необходимо должно прежде увѣриться могутъ ли онѣ вынести, неразрываясь, тѣ усилія которымъ веревки сіи будутъ подвержены. Посе-

Digitized by Google

му весьма существенно знать прежде всего то сопротивленіе, которое онѣ выдержать могутъ.

При короткой веревкѣ можно менѣе опасаться, чтобъ она въ какой нибудь точкѣ была гораздо слабѣе, чѣмъ во всѣхъ прочихъ. Замѣтимъ также, что если возмемъ два не равной длины конца одной и той же веревки и подвергнемъ ихъ равнымъ напряженіямъ, то короткій конецъ выдержитъ гораздо большее усиліе, прежде нежели разорвется, чѣмъ долгій конецъ.

Теперь положимъ, что при каждомъ концѣ веревки дѣйствуетъ не одна сила, а какое нибудь число силъ. Пусть дѣйствующія силы съ одной стороны веревки будутъ Ax', Ax'', Ax''', ... [фиг. 2], а съ другой By', By'', By''', ... Всѣ силы Ax', Ax'', Ax''', ... и By', By'', By''', ... можно замѣнить одною силою, или ихъ равнодѣйствующею, которую мы опредѣлимъ по обыкновеннымъ законамъ составленія силъ. Для сего, сдѣлаемъ многоугольникъ, котораго бы стороны были параллельны прямымъ, представляющимъ сіи силы. Двѣ прямыя линіи AX и BY, замыкающія сіи многоугольники, представятъ двѣ равнодѣйствующія. Сіи двѣ равнодѣйствующія должны: 1. быть направлены въ противныя стороны, по направленію веревки AB; 2. быть равны между собою.

Если силы неравны между собою, то произойдетъ движеніе въ сторону большей силы и, скорость будетъ въ обратномъ содержаніи массы движущейся веревки, и проч. [Глава II].

Приложеніе къ звону колоколовъ. Колокола, въ которые звонятъ въ церквахъ, приводятся въ

Digitized by Google

движеніе помощію веревки AB [фиг. 4], привязанной къ языку B. Если колоколъ столь великъ что для произведенія звона потребно двухъ или трехъ человѣкъ, то на концѣ главной веревки AB, привязываютъ другія малыя веревки Ax', Ax'', Ax''', ... Человѣкъ беретъ каждую изъ сихъ веревокъ, и всѣ вмѣстѣ разомъ тянутъ ее сообщая такимъ образомъ колоколу приличное движеніе. Для полученія равнодѣйствующей должно составить многоугольникъ Ax' X'' X'''....., коего стороны Ax', $x'X''$, $X''X'''$, представляютъ по величинѣ и направленію силы Ax', Ax'', Ax''', ...

Проведя чрезъ точку A и оконечность послѣдней стороны, прямую AX''', сомкнемъ сей многоугольникъ силъ, въ которомъ прямая AX''' представитъ равнодѣйствующую. Наконецъ, въ разсматриваемомъ нами теперь случаѣ сія равнодѣйствующая должна проходить чрезъ веревку AB.

Звонари, коихъ сила почти одинакова, ставятся дугою въ равныхъ одинъ отъ другаго разстояніяхъ, такъ чтобы веревка AB, проходила по срединѣ сей дуги. Таковымъ разпоряженіемъ равнодѣйствующая ихъ силъ пройдетъ чрезъ линію AB.

Копры или машины для вбиванія свай. Сказанное выше о звонѣ колоколовъ равнымъ образомъ можно приложить и къ копрамъ, въ которыхъ также къ главной веревкѣ, привязываются другія маленькія, помощію которыхъ люди тянутъ главную веревку, а съ нею вмѣстѣ и бабу, ударяющую башку сваи. Но для совершеннаго истолкованія сей машины должно знать блоки.

До сихъ поръ, мы принимали, что веревки тя-

Digitized by Google

нутся только за ихъ оконечности. Теперь положимъ, что онѣ сверьхъ того тянутся еще и за какую нибудь промежуточную точку.

Пусть силы AX и BY (фиг. 4) будутъ приложены къ концамъ A и B, веревки ACB, и сила CZ приложена къ промежуточной точкѣ C. Сіи три силы будутъ въ равновѣсіи, если, при перенесеніи BY въ Cy, AX въ Cx, параллелограмъ, образованный на сторонахъ Cx и Cy, будетъ имѣть діагональ свою CZ', совершенно равную и противоположную силѣ CZ.

Положимъ, что сила AX (фиг. 5), изображенная чрезъ Cx и сила BY, представленная чрезъ Cy, суть равны между собою. Тогда параллелограмъ Cx Z'y, сдѣлается ромбомъ, и углы x CZ' и y CZ', будутъ также равны между собою, то есть, что прямыя линіи CAX и CBY, будутъ съ направленіемъ равнодѣйствующей CZ', дѣлать равные углы.

Но смотря потому какъ сила Cy, будетъ болѣе или менѣе силы Cx, то и сила CZ' будетъ болѣе приближаться или болѣе удаляться отъ силы CBY чѣмъ отъ силы CAX; сіе будетъ зависить отъ формы равныхъ трехугольниковъ Cx Z' и Cy Z'.

Если имѣются четыре силы AX, BY, A'X' и B'Y' [фиг. 6], приложенныя къ точкамъ C и C', то онѣ должны быть въ равновѣсіи около каждой изъ точекъ C и C'....

Напримѣръ, около точки C, находятся силы AX и BY, коихъ равнодѣйствующая долженствуя итти по направленію CC', представитъ напряженіе веревки CC', производимое сими двумя составляющими силами. Итакъ, построивъ параллелограмъ Cy Zx, въ которомъ Cx=AX, Cy=BY, получимъ CZ равную напряженію веревки BC.

Равнымъ образомъ для точки C', построивъ параллелограмъ C'y' Z'x', коего стороны C'x'=A'X', C'y'=B'Y', получимъ C'Z' равную напряженію веревки; но чтобы CC' оставалась въ равновѣсіи, то двѣ противоположныя силы CZ и C'Z', должны быть равны между собою

Замѣтимъ здѣсь, что опредѣленіе различныхъ напряженій AC, CC', C'A', и проч. будучи независимо отъ длины частей AB, BC, CD, и проч., то увеличивъ или уменьшивъ длину сихъ частей, самыя напряженія, равно какъ и состояніе равновѣсія всей системы отъ того неизмѣнится. Посему, ненарушая равновѣсія можно предположить, что одна изъ оныхъ или многія сдѣлались нулями. Слѣдовательно, когда какое нибудь число силъ приложено къ различнымъ точкамъ одной и той же веревки, то прилагая всѣхъ ихъ къ одной точкѣ, не измѣнивъ ни длины ихъ, ни направленія, всѣ онѣ перенесенныя такимъ образомъ параллельно и освобожденныя отъ веревки будутъ въ равновѣсіи.

Когда на веревку будутъ дѣйствовать силы приложенныя къ различнымъ точкамъ, тогда она изо-

Digitized by Google

бразитъ фигуру многоугольника, который по сей причинѣ и называется *веревочнымъ многоугольникомъ*. Здѣсь силы, дѣйствующія около каждой точки, должны быть въ равновѣсіи съ напряженіемъ сторонъ многоугольника, въ которомъ точки сіи суть вершины.

Мы безпрестанно видимъ примѣры равновѣсія веревочнаго многоугольника, при вѣшаніи тяжестей на веревкѣ, когда два конца оной ненаходятся въ одной вертикальной плоскости. Висячіе мосты, о которыхъ мы будемъ говорить въ концѣ сей главы, покажутъ намъ другой примѣръ веревочнаго многоугольника и пользы относящихся къ оному исчисленій.

Пусть Ay, Bz, Cv, Dw, (фиг. 7), суть вертикальныя силы; равнодѣйствующая ихъ Rr, которая будетъ равнымъ образомъ вертикальна и равна суммѣ ихъ, можетъ опредѣлиться непосредственно потеоріи параллельныхъ силъ. Чтобы въ семъ веревочномъ многоугольникѣ существовало равновѣсіе, то сила Rr, представляющая совокупность силъ Ay, Bz, Cv и Dw, должна быть въ равновѣсіи съ напряженіемъ концевъ A и D, веревки. Что требуетъ: 1. чтобъ двѣ крайнія силы Ax и Dw, сходились въ одну точку O, на равнодѣйствующей Rr, параллельныхъ силъ; 2. если на продолженіи прямой OAx возмемъ Ox'=Ax, а на продолженіи ODu прямую Ou'=Du и, построивъ на сихъ линіяхъ какъ на сторонахъ параллелограмъ, чтобъ діагональ онаго было совершенно равна Rr и подобно прочимъ составляющимъ силамъ была бы также вертикальна.

Что касается до напряженій различныхъ частей веревки ABCD, то оныя всегда будетъ легко опредѣлить, принимая каждую параллельную силу Ay, Bz, ... за діагональ параллелограмма, коего продолжены бока Ax и AB, AB' и BC, BC и CD, ... ; бока сихъ параллелограммовъ представятъ напряженія веревокъ. Такимъ образомъ опредѣлятся напряженія каждой веревки AB, BC, CD, при двухъ ея оконечностяхъ. Чтобъ существовало равновѣсіе, то напряженія двухъ оконечностей каждой веревки, должны быть равны между собою. Въ противномъ случаѣ веревка будетъ двигаться въ сторону большаго напряженія, какъ будто она была побуждаема непосредственно двумя неравными силами.

Теперь мы можемъ принять въ соображеніе тяжесть веревокъ. Положимъ, что веревка утвержденная за два конца, оставлена дѣйствію своей тяжести.

Digitized by Google

Мы можемъ принимать сію веревку составленною изъ безчисленнаго множества весьма маленькихъ прямыхъ линій, равныхъ между собою, весьма мало одна къ другой наклоненныхъ и образующихъ кривую линію, которую должна принять веревка, находящаяся въ состояніи равновѣсія и покоя. Разсмотримъ двѣ изъ сихъ малыхъ соприкосновенныхъ сторонъ AB и BC (фиг. 8), равнодѣйствующая вѣса каждой изъ оныхъ, есть сила проходящая чрезъ средину ихъ, въ M и N. Такимъ образомъ получимъ рядъ параллельныхъ силъ Mx, Ny, Oz, равныхъ между собою и таковыхъ, что ихъ точки приложенія M, N и O, равно одна отъ другой отстоятъ.

Равнодѣйствующая всѣхъ сихъ силъ равна суммѣ ихъ и направлена вертикально: пусть Rr будетъ сія равнодѣйствующая. Изъ вышедоказаннаго слѣдуетъ, что двѣ послѣднія стороны Ff и Gg, веревочнаго многоугольника, будучи продолжены должны встрѣтиться на равнодѣйствующей Rr. Итакъ касательныя въ точкахъ F и G, къ кривой FAB . . . . . G, пересѣкаются всегда въ направленіи равнодѣйствующей вѣса свободно висящей веревки: равнодѣйствующей, которая проходитъ чрезъ центръ тяжести веревки (*).

Кривая, которую принимаетъ веревка повѣшенная за два конца и оставленная дѣйствію ея тяжести будетъ таже, хотя бы вмѣсто веревки взяли нитку или цѣпь. Произшедшая такимъ образомъ кривая есть разсмотренный нами предъ симъ многоугольникъ, составленный изъ чрезвычайно большаго числа безконечно малыхъ сторонъ, и называемый *цѣпною линіею* или *кривою веревочною линіею*.

Механическія и изящныя искусства, весьма часто употребляютъ цѣпную линію.

Канаты, цѣпи AB [фиг. 14], коими удерживаютъ корабли въ равновѣсіи противу силъ вѣтра и струи, принимаютъ форму цѣпной линіи, болѣе или менѣе согнутой, смотря по ихъ напряженію.

(*) Математики употребляютъ свойство сіе для опредѣленія дифференціальнаго уравненія кривой, образуемой веревкою, свободно оставленною дѣйствія ея тяжести. Но по несчастію, способы наши, не могутъ доставить намъ въ конечномъ выраженіи уравненія сей кривой линіи. Чтоже касается до насъ, то мы достигнемъ простѣйшимъ образомъ до тѣхъ выводовъ, до которыхъ помощію аналитической науки мы немогли бы достигнуть.

Digitized by Google

Тоже самое разумѣется и о веревкахъ, употребляемыхъ для тяги бичевой, людьми или лошадьми, помощію веревокъ привязываемыхъ къ главнымъ веревкамъ. Изслѣдованіе напряженій, выдерживаемыхъ главными и побочными веревками, и передача равно какъ и потеря силъ бичевой, суть важные вопросы, которые рѣшаются по правиламъ, изложеннымъ въ сей главѣ. Мы изъяснимъ употребленіе цѣпныхъ линій при оснасткѣ кораблей.

Къ цѣпной линіи и къ веревочному многоугольнику должно также отнести равновѣсіе канатовъ, протянутыхъ для паромовъ отъ одного берега рѣки къ другому. Они привязываются къ довольно возвышеннымъ точкамъ, дабы судна съ мачтами могли проходить подъ ними. На канатѣ можетъ [помощію блока] ходить верхній конецъ веревки, которой нижній конецъ привязанъ къ *паромy*. Въ каждомъ положеніи сей веревки, она натягивается отъ дѣйствія текущей воды на паромъ. Напряженіе сіе уравновѣшиваетъ два другія напряженія частей каната, находящихся по правую и лѣвую сторонамъ веревки тянущей паромъ. Дабы опредѣлить силу, которую должно дать канату сему или веревкѣ, надлежитъ вычислить наибольшія напряженія, каковыя они выдержать могутъ; свойства цѣпной линіи и веревочнаго многоугольника подаютъ къ оному средства.

Одно изъ важнѣйшихъ приложеній цѣпной линіи и веревокъ вообще, есть *висячіе мосты* [фиг. 15]; но прежде оныхъ должно изъяснить геометрическія свойства цѣпной линіи, столь обильныя своими слѣдствіями.

Digitized by Google

Если двѣ оконечности A и B цѣпи AECFB [фиг. 9], находятся на одной высотѣ, то сія кривая будетъ симметрическая въ отношеніи вертикальной DC, проходящей чрезъ D, средину AB. Въ самомъ дѣлѣ мы видимъ, что нѣтъ причины, по которой бы лѣвая часть AEC, отличалась формою или величиною отъ правой части BFC.

Гирланды, снурки золотые и шелковые, ленты, бахрамы и цвѣты, вѣшаемые за двѣ точки, не въ одной вертикальной прямой находящіяся, образуютъ цѣпную линію, которой симметрія удачно противоположена измѣненіемъ кривизнъ и положеній; измѣніемъ, котораго изящество есть одна изъ тайнъ искуства, имѣющаго цѣлію украшеніе комнатъ и публичныхъ зданій.

Живописцамъ и рисовальщикамъ, весьма полезно знать различныя роды кривизны цѣпной линіи; дабы они сообщали представленію украшаемыхъ ими предметовъ, такіе обводы, которые не противорѣчатъ истинѣ.

Теперь представимъ, что точка E (фиг. 9) постоянна, и отнимемъ прочь AE, то остальная часть ECB, также будетъ въ равновѣсіи. Если проведемъ горизонтальную EF, и для второй постоянной точки вмѣсто B возмемъ F, то часть EC, будетъ еще симметрическою относительно FC.

Итакъ, когда оконечности E и B цѣпной линіи (фиг. 9), ненаходятся на одной высотѣ, то если чрезъ оконечность меньшаго возвышенія, проведемъ горизонтальную EF, часть ECF цѣпной линіи, подъ сею горизонтальною находящаяся, будетъ симметрическою относительно перпендикуляра CG, возставленнаго къ EF изъ средины ея G, а точка C будетъ ниже всѣхъ точекъ на сей цѣпной находящихся.

Поелику цѣпная линія ECF, есть симметрическая относительно вертикальной прямой CG, то центръ тяжести сей кривой находится на сей вертикальной линіи. Проведемъ двѣ прямыя линіи EO и FO, касательныя въ точкахъ E и F къ цѣпной линіи. Возмемъ потомъ вертикальную часть OR, представляющую вѣсъ цѣпной линіи; стороны параллелограмма O*r* R*r*', представятъ напряженія веревки въ точкахъ E и F.

Digitized by Google

Теперь опредѣлимъ напряженіе самой нижней точки C, цѣпной линіи. Если проведемъ CO и OB (фиг. 10), касательныя къ цѣпной линіи въ точкахъ C и B, то: 1. центръ тяжести цѣпной линіи CB, будетъ на вертикальной OG чрезъ точку O проходящей линіи; 2. если на OG, OC и OB, построимъ параллелограмъ OQPS, то OP представитъ вѣсъ дуги CB, OS напряженіе въ точкѣ C, а OQ напряженіе точки B. Но въ параллелограммѣ OQPS, PQ=OS, и какъ OPS есть прямоугольной трехугольникъ, то OQ всегда длиннѣе OS, то есть, что напряженіе цѣпной линіи въ точкѣ B, всегда сильнѣе напряженія оной въ точкѣ C.

Но если поднимемся выше, то касательная BOQ съ вертикальною линіею будетъ составлять уголъ болѣе острый; длина OS останется постоянною; длина OP будетъ возрастать какъ вѣсъ цѣпной линіи; итакъ, сторона OQ будетъ возрастать болѣе и болѣе. Слѣдовательно, чѣмъ точки цѣпной линіи находятся выше, тѣмъ напряженіе оныхъ становится болѣе.

Итакъ, если положимъ, что цѣпная линія имѣетъ повсюду одинаковую силу, то разрывъ оной всегда бываетъ въ точкахъ болѣе возвышенныхъ; но если она въ сихъ точкахъ необорвется, то тѣмъ по большей причинѣ, она не будетъ рваться въ промежуточныхъ частяхъ.

Если въ прямоугольномъ трехугольникѣ POS (фиг. 10), одна сторона OP, прямаго угла O, будетъ увеличиваться, когда другая OS останется постоянною, то большая сторона PS, будетъ менѣе и менѣе разнствовать отъ PO.

Представимъ теперь, что фигура, изображенная цѣпною линіею CB (фиг. 11 и 12), увеличиваетъ или уменьшаетъ величину свою, во всѣхъ частяхъ пропорціонально, то говорю, что равновѣсіе нисколько не нарушится, а посему и форма цѣпной линіи также не измѣнится. Въ самомъ дѣлѣ, если въ новой цѣпной линіи, какая нибудь точка оной *m* подобно расположена относительно точки M первой кривой, то касательная *mo*, дѣлаетъ съ вертикальною *dco*, тотъ же уголъ, что и касательная MO, съ вертикальною DCO. Притомъ длина цѣпной линіи пропорціональна разстояніямъ BD и *bd*. Слѣдовательно, отношеніе вѣсовъ цѣпной линіи OP: *op* равно отношенію напряженій OQ: *oq*, цѣпной линіи въ точкахъ M и *m*.

Итакъ, напряженія возрастаютъ пропорціонально вѣсу веревки. Сіи силы помѣщаются въ положеніи подобномъ занимаемому ими въ первомъ положеніи: слѣдовательно, онѣ дѣйствуя на цѣпную линію одинаковой фигуры, будутъ равнымъ образомъ въ равновѣсіи.

Посему, примемъ за правило, что напряженія подобныхъ цѣпныхъ линій, въ подобныхъ точкахъ, суть въ отношеніи подобныхъ размѣреній сихъ двухъ кривыхъ линій.

Слѣдовательно, если я сравню двѣ подобной фигуры цѣпныя линіи, изъ коихъ одна вдвое менѣе и въ двое тяжелѣе другой, или въ трое менѣе и въ трое тяжелѣе другой, или въ четверо менѣе и въ четверо тяжелѣе другой, то напряженіе двухъ цѣпныхъ линій, въ подобноразположенныхъ точкахъ будетъ одинаково.

Теперь, сравнимъ напряженія двухъ неподобныхъ между собою цѣпныхъ линій. Для упрощенія разысканій нашихъ, и дабы притомъ заняться особенно случаемъ, наиболѣе полезнѣйшимъ для искуствъ, разсмотримъ весьма мало согнутыя цѣпныя линіи; пред-

Digitized by Google

станикъ, что при тойже длинѣ онѣ имѣютъ тотъ же вѣсъ, что постоянныя точки оныхъ находятся на томъ же разстояніи.

Когда кривая ACB (фиг. 13), имѣетъ весьма малую кривизну, то безъ чувствительной погрѣшности можно принять, что центръ тяжести каждой точки CB, сей кривой, находится на вертикальной EF, помѣщенной въ равныхъ разстояніяхъ отъ оконечностей C и B. Если чрезъ сей центръ G, проведемъ вертикальную EGF до прямой AB, то будетъ DF=FB; а если изъ точки B, на продолженную CE опустимъ вертикальную BI, то CE=EI.

Теперь, принявъ C и B, за постоянныя точки цѣпной линіи, проведемъ двѣ касательныя CE и BE, кои будутъ двѣ стороны параллелограмма CEBF, имѣющаго EF діагональю. Представимъ чрезъ EF, вѣсъ дуги CB, то стороны BE и CE, изобразятъ напряженія веревки въ точкахъ B и C.

Если стрѣлка CD, чрезвычайно мала въ отношеніи длины AB, то между линіями CF и BE, BF и CE, небудетъ почти никакой разности. Посему, тогда, напряженіе веревки или цѣпи, образующихъ цѣпную линію, останется почти тоже по всему ея протяженію. Но чтобы напряженіе во всѣхъ точкахъ было одинаково, то стрѣлка CD должна быть=0.

Поелику, вѣсъ кривой разсматривается постояннымъ и представленъ чрезъ OR, то напряженіе веревки въ точкѣ B, изобразится чрезъ OQ, проведя QR горизонтально до продолженія OQ, касательной BE.

Въ подобныхъ трехугольникахъ BEI и OQR, будетъ:

$$BE : BI = OQ : OR. \text{ откуда } OQ = OR \times \frac{BE}{BI},$$

Но BI=CD, а BE весьма мало разнится отъ $\frac{1}{2}$ BD, когда BI=CD весьма мала, то приближенно

$$OQ = OR \times \frac{BD}{2CD}.$$

Слѣдовательно, если разстояніе точекъ A и B постоянно, равно какъ и вѣсъ веревки изображенный чрезъ OR, то напряженіе OQ будетъ въ обратномъ отношеніи стрѣлки CD; посему, дабы CD была чрезвычайно мала или нуль, должно чтобъ напряженіе въ точкѣ B или A, было чрезвычайно велико. Итакъ, *когда веревка за два конца на-*

Digitized by Google

тягивается горизонтально, то чтобы она была вытянута совершенно въ прямой линіи, потребныя для сего силы должны быть чрезвычайно большія.

Я для того изъяснилъ обстоятельство сіе по подробнѣе, поелику есть люди, которыхъ трудно увѣрить, напримѣръ, что свободную, весьма легкую веревку привязавъ къ двумъ точкамъ на одной высотѣ находящимся, никакъ невозможно натянуть совершенно въ прямой линіи.

Приложеніе къ оснасткѣ кораблей. Весьма полезно знать свойства, показанныя нами относительно цѣпной линіи. Помощію ихъ опредѣлимъ усилія, которыя выдерживаютъ веревки, во многихъ важныхъ случаяхъ. Я упомяну, напримѣръ, *оснастку кораблей.* Такимъ образомъ называютъ собраніе веревокъ (такелажа), употребляемыхъ для поддержанія и движенія мачтъ и рей корабля.

Вертикальныя мачты CD, EF и GH [фиг. 14], проходятъ внутрь корабля до кильсона, гдѣ *шпоръ* (низъ) оныхъ входитъ въ *степсы* [гнѣзда]. На *топѣ* мачты (верхнію часть) накладываются штаги *огономъ* [петлею], которые низходятъ по направленію отъ кормы къ носу и укрѣпляются въ опредѣленныхъ мѣстахъ. Въ *движеніяхъ килевой качки*, когда корма возвышается а носъ погружается, штагъ препятствуетъ мачтѣ изломиться, при паденіи оной назадъ, штагъ сей служитъ для противѣсія усилія вантовъ.

Ванты, суть веревки согнутыя вдвое посрединѣ, и у сгиба связанныя *бензелемъ* [тонкою веревочкою], оставляя ожерелье, называемое *огономъ*, которымъ накладываются на топъ мачты. Два конца каждой веревки образуютъ пару вантъ; пара

Digitized by Google

таковыхъ кладется прежде съ правой стороны, потомъ съ лѣвой, итакъ далѣе попеременно. Ванты тянутъ тотъ мачты, низходя отъ средины корабля къ краямъ онаго а также и назадъ.

Штаги и ванты, будучи наклонены, не могутъ образовать прямыхъ линій каково ни было напряженіе оныхъ; онѣ образуютъ *цѣпныя линіи*. Цѣпныя линіи вантовъ имѣютъ весьма малую кривизну, поелику сіи веревки приближаются къ вертикальному направленію; но при штагахъ, кои удаляются отъ вертикальнаго положенія, цѣпная линія имѣетъ болѣе значительную кривизну. Цѣпная линія, образующаяся штагомъ, вантою, измѣняетъ кривизну свою прикаждомъ новомъ движеніи вѣтра или волнъ. Вѣтръ, побуждая корабль итти впередъ, уменьшаетъ кривизну цѣпной линіи, образованной вантою, увеличивая кривизну цѣпной линіи, образованной штагомъ. Когда вѣтръ дуетъ съ боку, то уменьшаетъ кривизну цѣпныхъ линій, образованныхъ вантами, съ сей стороны находящихся, увеличивая кривизну цѣпныхъ линій противоположныхъ вантъ.

Изслѣдованіе увеличиванія кривизны цѣпныхъ линій образованныхъ вантами и штами, произходящаго или отъ свойства матеріи сего такелажа, или отъ свойства образуемыхъ ими кривыхъ линій, весьма важно какъ для оснастки кораблей, такъ и для мореплаванія.

Вмѣсто веревокъ, имѣющихъ повсюду равную толщину можно бы было употребить такія, коихъ толщина къ низу постепенно уменьшается дабы въ нижней точкѣ имѣть только силу по-

Digitized by Google

требную для сопротивленія искуственному напряженію, которое доставляютъ, въ сей части, каждой вантѣ.

Сіе новое условіе безъ сомнѣнія затруднитъ выдѣлку веревокъ, но за то сбережетъ матеріалъ и облегчитъ оснастку кораблей. Можно бы было сдѣлать множество другихъ улучшеній, которыхъ изъясненіе здѣсь не должно имѣть мѣста. Но сказанное мное достаточно показываетъ, какимъ образомъ вычислять напряженіе веревокъ и наивыгоднѣйшее направленіе оныхъ.

Висячіе мосты. Изъяснимъ теперь строеніе и равновѣсіе сихъ мостовъ.

Положимъ, что между точками A и B [фиг. 15], натянута веревка. Въ различныхъ точкахъ, въ равныхъ разстояніяхъ на сей веревкѣ взятыхъ, укрѣпимъ другія веревки или прутья *mm'*, *nn'*, *oo'*, *pp'*, ... Прикрѣпимъ двѣ равныя веревки A*m n o p* . . . . B, отъ одной стороны на другую въ равныхъ возвышеніяхъ, потомъ поперечными горизонтальными соединимъ основанія прутьевъ, помѣщенныхъ одинъ противъ другаго. Наконецъ, на сихъ параллельныхъ утвердивъ настилку, получимъ висячій мостъ.

Для опредѣленія условій равновѣсія сего моста, должно принять, что каждая веревка A*m n o* . . . . . B, поддерживаетъ части моста, кои между равными промежутками прутьевъ имѣютъ равный вѣсъ; но прутья, по мѣрѣ приближенія ихъ къ оконечностямъ веревки, увеличиваютъ вѣсъ свой. Поелику вѣсъ прутьевъ весьма малъ въ сравненіи съ вѣсомъ моста, то принимаютъ, что веревка выдер-

Digitized by Google

живаетъ, включая и ея вѣсъ, равныя тяжести при равныхъ горизонтальныхъ разстояніяхъ; тогда образуемая ею кривая будетъ *парабола*.

Теперь можно вдругъ опредѣлить, и положеніе центра тяжести веревки A*mn*B, и точку T, гдѣ встрѣчаются двѣ касательныя къ кривой линіи. Ибо, въ параболѣ, имѣющей IM стрѣлкою, IM=TM.

Если на касательныхъ AT и BT, къ повѣшенной цѣпи, принимаемой за параболу, построимъ параллелограмъ T*a* M*b*, то будетъ вѣсъ цѣпи *относиться* къ напряженію сей цѣпи въ точкѣ T, *какъ* MT *относится къ* *a*T. Если проведемъ *ab* параллельно AB, то получимъ MT : *a*T=2IT : AT= 4IM : AT=8IM : 2AT.

Наконецъ, когда стрѣлка IM весьма мала въ отношеніи къ длинѣ AI, то 2AT и AB, можно принять за равныя. Слѣдовательно, въ семъ случаѣ, вѣсъ цѣпи относится къ напряженію оной въ точкѣ A, какъ восьмикратная длина стрѣлки относится къ разстоянію AB точекъ упора A и B.

Должно замѣтить, что величина сія есть только приближенная. Чтобы безъ большой погрѣшности не смѣшать длинъ AI и AT, должно взять отношеніе AT: 4IM вмѣсто AB: 8IM

Силу вертикальныхъ прутьевъ можно гораздо легче опредѣлить, раздѣля вѣсъ помоста на число ихъ. Толщину ихъ должно соразмѣрять числу фунтовъ, полученныхъ въ частномъ сего дѣленія.

Большіе висячіе мосты чрезъ рѣки, строятся у насъ Инженерами Путей Сообщенія, а малые чрезъ рвы и ручьи, дабы могли выдержать пѣшеходцевъ, тачки, и проч., или для сообщенія одного

Digitized by Google

зданія мануфактуры съ другимъ, касаются до всѣхъ отраслей промышленности.

Для сихъ небольшихъ мостовъ можно употребить желѣзныя проволоки [*], вмѣстѣ соединенныя и обвитыя потомъ тою же проволокою спирально, подобно металлическимъ струнамъ музыкальныхъ инструментовъ. Толстые вертикальные прутья замѣнивъ тонкими, а на маленькія нижнія поперечины положивъ продольно доски, получимъ таковой мостъ. Сіи построенія соединяютъ съ прочностію величайшую экономію, когда размѣренія и фигура оныхъ соразмѣются съ изложенными въ главѣ сей правилами равновѣсія веревокъ.

Г. Сегинъ д' Аннонай, который былъ первымъ построившимъ во Франціи висячій изъ проволокъ мостъ, представилъ еще разительнѣйшій примѣръ; онъ построилъ въ своей мануфактурѣ мостъ такого рода, имѣющій около 18 метровъ длины при 6 дециметрахъ ширины. Мостъ сей, назначенный для перехода пѣшеходцевъ, стоилъ только пять десятъ франковъ.

Разсмотрѣвъ отдѣльныя веревки, подверженныя дѣйствію какихъ нибудь силъ, равно какъ и дѣйствію тяжести, представимъ ихъ приложенными къ поверхности твердыхъ тѣлъ. Когда веревка положенная на поверхность, вытягивается за два ея конца, то очевидно, что отъ каждой силы понуждающей ее двигаться въ ея собственномъ направленіи она перемѣнитъ свое положеніе и при-

(*) По опытамъ надъ сибирскимъ желѣзомъ, сила разрыванія одной квадратной линіи была въ 596 фунтовъ.

Digitized by Google

метъ наконецъ такое, въ которомъ по возможности займетъ болѣе длины на поверхности. Равновѣсіе можетъ быть только въ окончательномъ положеніи, гдѣ веревка принимаетъ видъ кратчайшей линіи, которую можно провести между двумя точками прикосновенія веревки и поверхности. Слѣдовательно, кратчайшія линіи, которыя только можно провести на поверхности, имѣютъ необходимое отношеніе съ положеніемъ равновѣсія веревокъ, приложенныхъ къ поверхности и натягиваемыхъ за два конца [*].

Когда веревка лежитъ на поверхности, и побуждается къ движенію силами, приложенными къ двумъ концамъ ея, то для сохраненія равновѣсія, силы сіи должны быть равны между собою. Въ противномъ случаѣ веревка будетъ двигаться въ сторону большей силы: какъ будто была приложена одна только сила, дѣйствующая по сему направленію и равная разности двухъ первыхъ.

Художества часто употребляютъ веревки та-

(*) Геометрическое свойство сихъ кривыхъ линій состоитъ въ томъ, что въ какой бы точкѣ оной ни провели плоскость разверзанія, то оная плоскость будетъ перпендикулярна къ поверхности, на которой начерчена кривая. Слѣдовательно, если въ различныхъ точкахъ кривой воткнемъ рядъ прутьевъ, перпендикулярныхъ къ поверхности, будемъ смотрѣть по направленію кривой, такимъ образомъ, чтобъ лучи зрѣнія образовали плоскость, проходящую вдругъ чрезъ касательную къ кривой и чрезъ перпендикулярный въ разсматриваемой точкѣ прутъ, то плоскость образованная лучами зрѣнія будетъ разверзающаяся кривой, которая въ разсматриваемой точкѣ будетъ казаться не имѣющею никакой кривизны. Свойство сіе можетъ служить для начертанія по приближенію кратчайшей кривой, которую можно провести на поверхности, начиная отъ данной точки по данному же направленію.

Digitized by Google

кимъ образомъ натянутыя на поверхности. Когда строители кораблей желаютъ дать поверхности набора и поверхности обшивки, совершенно непрерывную кривизну, то натягиваютъ веревку по продольному направленію, сообщая ей правильное направленіе по длинѣ обшивки. Они постепенно срѣзываютъ выдающія части дерева, между различными гвоздями, коими прикрѣпляютъ веревку къ поверхности. Веревка, натянутая за два конца, принимаетъ направленіе и кривизну кратчайшей линіи, которую только можно провести на поверхности корабля между послѣдовательными гвоздями.

Есть поверхности, которыя можно совершенно окружить веревкою, соединенною двумя концами оной, кои потомъ крѣпко стягиваются узломъ или какимъ другимъ образомъ. Веревка тогда только будетъ въ положеніи равновѣсія, когда она будетъ совершенно въ направленіи кратчайшей линіи, которую можно провести отъ точки, гдѣ начинается узелъ, сдѣлавъ оборотъ около тѣла до сего самаго узла.

Одежда мужчинъ и женщинъ представляетъ безпрестанное приложеніе веревокъ, положенныхъ такимъ образомъ на поверхности. Кушаки и поясы суть кратчайшія линіи, которыя можно провести непосредственно на поверхности нашего тѣла или на поверхности тѣла покрытой одеждою. Если поясъ повязанъ высоко, то онъ спускается ниже, а когда низко то поднимается.

Многія части прическѣ женщинъ и мужчинъ составлены также изъ веревокъ или снурковъ, на-

Digitized by Google

тягиваемыхъ на поверхности головы; какъ то: цѣпочки и ленты, искусно проходящія въ волосахъ, греческіе и римскіе головные удары, азіатскія діадимы, тесьмы или ремни котурнъ [древняя обувь], и проч.

Повязки, браслеты, ожерелья, кольца, должны быть уподоблены, то цѣпнымъ линіямъ свободно положеннымъ на разнообразныя поверхности, то линіямъ окружающимъ поверхности ногъ, рукъ, пальцевъ и шеи, по кратчайшимъ направленіямъ, которыя сіи части натихъ членовъ представить могутъ.

При изъясненіи дѣйствія блоковъ, мы увидимъ, что веревки помѣщаются въ желобкѣ шкивовъ, по кратчайшей линіи, которую можно провести на сихъ желобкахъ.

Упряжь лошадей представляетъ занимательныя и весьма разнообразныя приложенія соединенія кратчайшихъ линій, которыя можно провести на поверхности тѣла сихъ животныхъ. Хомуты, подпруги, уздечки, и вообще всѣ части конской сбруи, подчинены показаннымъ нами правиламъ равновѣсія веревокъ приложенныхъ къ поверхностямъ.

Разсмотрѣвъ приложенную къ поверхности веревку, на которую дѣйствовали силы приложенныя только къ двумъ концамъ оной, положимъ, что кромѣ того она подвержена дѣйствію силы въ промежуточной точкѣ. Условія равновѣсія въ сей точкѣ найдутся, если положимъ что силы, которыя тянули веревку за ея концы, перенесены по направленію самой веревки въ точку, гдѣ дѣйствуетъ промежуточная сила. Сіи три силы должны быть такимъ образомъ направлены и соразмѣрены, чтобъ онѣ въ сей точкѣ были въ равно-

Digitized by Google

вѣсіи, какъ будто веревка не принадлежитъ ни къ какой поверхности.

Правила, показанныя относительно веревочнаго многоугольника, для равенства напряженій въ каждой промежуточной точкѣ, побуждаемой особенною силою, прилагаются и къ веревочнымъ многоугольникамъ, коихъ части веревокъ сгибаются на какой либо поверхности. Здѣсь должно быть: 1. чтобъ напряженія двухъ частей веревки по правую и лѣвую сторону промежуточной силы, были съ сею силою въ равновѣсіи; 2. чтобъ напряженія каждой части веревки между двумя промежуточными силами были равны и прямо противоположны.

Збруя, о которой мы выше упомянули представляетъ разнообразные примѣры веревочныхъ многоугольниковъ.

Условіе равновѣсія и пропорціи силъ, въ сихъ веревочныхъ многоугольникахъ не есть только предметъ простаго любопытства: ибо очевидно, что крѣпость каждой части сбруи, должна быть соразмѣрна усилію, которое она должна выдержать, и что сіи различныя части должны быть такимъ образомъ вырѣзаны, чтобъ онѣ были въ равновѣсіи, не смотря надѣйствіе тяжести и движущихъ силъ; иначе, сбруя необходимо перемѣнитъ свое направленіе и упряжь не будетъ годиться.

Помощію приложенія Геометріи и Механики къ пропорціи, вырѣзкѣ сбруи, достигли того, наипаче въ военныхъ художествахъ, что содѣлали вѣсъ оной наименьшимъ, а форму столь удобную сколь возможно къ приложенію силы лошади. Англичане и Нѣмцы первые сдѣлали сіе ученіе; они вывели

Digitized by Google

изъ онаго для лошадей и ихъ упряжи величайшее превосходство дѣйствій. Намъ остается еще многое улучшить въ семъ отношеніи, наипаче для сбруи лошадей употребляемыхъ въ перевозкахъ земледѣлія и торговли. Это есть весьма существенный предметъ, на который художники должны обратить все свое вниманіе.

Если вмѣсто веревокъ, разсматриваемыхъ какъ математическія линіи, должно употребить веревки имѣющія опредѣленный объемъ и особенную форму, какъ ремни, и проч., то ремни сіи должно класть на поверхности плашмя, иначе форма ихъ непремѣнно испортится. Тогда ремни сіи должно разсматривать какъ развертывающіяся поверхности, касательныя къ поверхности тѣла, къ которой они прикладываются. Вотъ еще приложеніе разсужденій, представленныхъ въ Геометріи въ X главѣ.

Способъ вѣшать тяжести на веревкахъ, дабы человѣкъ могъ ихъ удобнѣе носить, заслуживаетъ особеннаго вниманія. Весьма простой и удобной способъ состоитъ въ привязываніи двухъ ремней къ спинкѣ ранца солдата, или къ корзинамъ и крючьямъ носильщиковъ. Ремни сіи проходятъ чрезъ подмышки на плеча; они тогда только будутъ въ равновѣсіи, когда примутъ направленіе кратчайшей линіи, которую можно провести отъ точекъ, гдѣ они привязаны чрезъ подмышки и до плечь. Вотъ почему принуждены бываютъ удерживать ихъ горизонтальнымъ ремнемъ, пересѣкающимъ грудь и идущимъ отъ одного ремня къ другому. Нетрудно опредѣлить напряженіе сего ремня и уголъ, который онъ долженъ дѣлать въ точкахъ его прило-

Digitized by Google

женія съ другими двумя ремнями. Другой способъ прилагать ремень есть способъ водоноса, который кладетъ его на два плеча и спускаетъ по длинѣ рукъ до кистей оныхъ, гдѣ ремень сей съ обѣихъ концевъ оканчивается крючками, захватывающими дужку ведра, а чтобы два ведра по тяжести своей не могли касаться ногъ водоноса, то для сего употребляютъ коромысло, ихъ отдѣляющее; напряженіе коромысла въ семъ случаѣ опредѣлить не трудно. Оно должно быть въ равновѣсіи: 1. съ вѣсомъ каждаго ведра; 2. съ силою сжиманія, которое испытуетъ коромысло, уничтожающее усиліе двухъ ведеръ, приблизиться одно къ другому.

Искуство увязывать различнаго рода поклажи, основано на свойствахъ равновѣсія веревокъ натягиваемыхъ на поверхностяхъ. Ученіе сіе легче, нежели ученіе его приложенія; учащіеся сами потрудятся сдѣлать оное и повѣрятъ въ промышленности на практикѣ условія теоріи.

Искуство проводить на поверхности нашего тѣла и нашей одежды, кривыя линіи, которыя были бы кратчайшія изъ возможныхъ на сихъ поверхностяхъ, и удовлетворяя сему условію, соединяли бы въ тоже время условія разнообразія, простоты и вкуса, принадлежать къ изящнымъ художествамъ, которыя предлагаютъ намъ приложенія болѣе разнообразныя и болѣе замысловатыя.

Мы видѣли, что спираль обладаетъ геометрическимъ свойствомъ, быть кратчайшею линіею, которую можно начертать на цилиндрѣ, между какими нибудь двумя точками сей линіи. Слѣдовательно, если обвить цилиндрическую поверхность ве-

Digitized by Google

ревкою на подобіе спирали, потомъ тянуть сію веревку за конецъ ея въ касательномъ направленіи къ поверхности, то кривизна спирали около цилиндра нисколько не измѣнится.

Въ машинахъ, въ которыхъ должно обвивать веревки около поверхностей, дѣлаютъ весьма обширное употребленіе сего свойства; напримѣръ, въ приложеніи веревки къ машинѣ называемой воротъ, которую мы опишемъ въ X главѣ. Толстыя струны скрыпокъ, арфъ и клавикордъ образуются изъ кишокъ обвитыхъ спирально металлическою проволокою. Напряженіе сей проволоки при спиральной формѣ есть одинаково во всѣхъ точкахъ длины ея. Слѣдовательно, дрожанія, которыя бываютъ, когда играютъ на инструментѣ, будутъ одинаковы во всѣхъ частяхъ струны; что происходитъ отъ свойствъ кривизны спирали.

Сѣти, дѣлаются изъ веревокъ или нитей, связанныхъ по двѣ въ опредѣленномъ порядкѣ. Есть сѣти, опредѣленныя для совершеннаго покрытія поверхностей. Такова сѣть, покрывающая воздушный шаръ, которая оканчивается у обвода челнока, носимаго симъ шаромъ.

Въ нарядѣ женщинъ мы часто встрѣчаемъ сѣтки, опредѣленныя для покрытія нѣкоторой части поверхности ихъ волосъ и ихъ одежды. Таковы суть сѣтки, употребляемыя въ ихъ прическѣ; такова легкая ткань, называемая тюль. Выдѣлка оныхъ на подобіе сѣтки, содѣлываетъ ихъ способными съ нѣжностію облегаться по изгибамъ и кривизнамъ человѣческаго тѣла.

Digitized by Google

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Продолженіе о веревочной машинѣ.—центральныя движенія веревокъ, прутьевъ, колесъ, маховыхъ колесъ.—моменты несамодѣйственности.—Маятники.

Положимъ, что сила X [фиг. 1], приложена перпендикулярно къ одному концу A, нетягучей и нетяжелой веревки AC, которой другой конецъ C привязанъ къ неподвижной точкѣ.

Если сила X, въ продолженіе какого нибудь времени дѣйствуетъ свободно, то она заставитъ матеріальную точку A итти по прямой линіи, и будетъ ее болѣе и болѣе удалять отъ постоянной точки C; но веревка, препятствуетъ матеріальной точкѣ, находиться отъ точки C, далѣе первоначальнаго разстоянія CA; слѣдовательно, веревки сія тянетъ матеріальную точку, дабы удержать ее въ постоянномъ разстояніи отъ неподвижной точки. Сила AX, повторяя дѣйствіе свое, тянетъ веревку, которая повинуясь симъ силамъ, должна быть всегда натянутою. Слѣдовательно оконечность A, сей веревки опишетъ кругъ.

Здѣсь мы видимъ три различныя силы: первая X, перпендикулярная къ радіусу CA, и слѣдовательно направленная по *касательной* AX, круга, описуемаго матеріальною точкою A, есть *касательная сила*; другая, притягивающая веревку къ центру, есть *центростремительная сила*; третія,

Digitized by Google

удаляющая точку A отъ центра, есть *центробѣжная сила*, равная и прямопротивоположная центростремительной силѣ. Разсмотримъ теперь отношеніе сихъ послѣднихъ силъ къ первой.

Построимъ параллелограмъ ANmn, имѣющій равныя стороны AN и An, то діагональ Am изобразитъ усиліе, необходимое для перемѣны направленія An въ AN, и чтобы заставить тѣло изъ точки A перейти въ N; сіе усиліе Am, есть центростремительная сила. Если проведемъ радіусъ CN, то трехугольники ACN и NAm будутъ подобны, поелику они суть симметрическіе и имѣютъ одинъ общій уголъ A. Посему

$$CN : AN = AN : Am = \frac{AN^2}{CN},$$

то есть, *что* Am, *представляя въ одно время и центро-стрѣтительную и центробѣжную силы, равна квадрату касательной силы, раздѣленному на радіусъ.*

Помощію сдѣланнаго нами разсужденія увидимъ, что взявъ AN=NN′=N′N″. . . . . , и заставляя на CN, CN′, CN″. . . . . дѣйствовать новую центростремительную силу всегда равную Am, то тѣло въ промежутки равныхъ временъ пробѣжитъ пространства AN, NN′, N′N″. . . . Слѣдовательно, тѣло пробѣгая данный кругъ всегда сохраняетъ туже касательную скорость, и отъ центростремительной силы безпрестанно получаетъ новыя и постоянныя впечатлѣнія: таково есть *центральное единообразное движеніе.*

Въ семъ движеніи, скорость равна перейденной дугѣ, раздѣленной на употребленное для того время.

Digitized by Google

Раздѣливъ дугу на радіусъ получимъ мѣру угла. Итакъ, уголъ соотвѣтствующій перейденной дугѣ, равенъ касательной скорости, раздѣленной на радіусъ сей дуги и умноженной на употребленное время. Уголъ сей, раздѣленный на время, даетъ мѣру называемую *угловою скоростію* тѣла, вращающагося около центра. Посему: 1. при той же касательной скорости, угловая скорость обратно пропорціональна радіусу; 2. при томъ же радіусѣ, касательная скорость пропорціональна угловой скорости.

Когда радіусы различествуютъ, то время употребленное для пробѣжанія цѣлаго круга обратно пропорціонально угловой скорости; слѣдовательно, время употребленное для пройденія цѣлаго круга пропорціонально рудіусу, раздѣленному на касательную скорость.

Выводы сіи находятъ свое приложеніе въ большомъ числѣ предложеній Механики, важныхъ для промышленности.

Тщательно припомнимъ, что если тѣло, вращаемое около какого либо центра, удерживается ниткою, веревкою, или какимъ прутомъ, то центростремительная сила есть напряженіе нитки, веревки, ипроч. къ сторонѣ центра, а центробѣжная противоположное напряженіе, по которому веревка стремится удалиться отъ центра.

Берейторъ, заставляя лошадь въ манежѣ бѣгать кругомъ, становится въ центрѣ круга, и одною рукою держитъ конецъ веревки привязанной къ уздечкѣ лошади. Здѣсь, касательная сила, есть си-

Digitized by Google

ла лошади, которая безпрестанно стрѣмится итти по касательной линіи; но берейторъ тянетъ веревку съ центрострѣмительною силою, равною силѣ, съ которою лошадь тянетъ сію веревку, то есть равною центробѣжной силѣ лошади. Когда лошадь удвояетъ скорость свою, то центрострѣмительная сила будетъ въ четверо болѣе; когда лошадь утроетъ свою силу, то центрострѣмительная сила становится въ девятеро болѣе, и т: д: Тѣже изъясненія, тѣже отношенія, приличествуютъ дѣйствію пращи, о которой мы будемъ скоро говорить.

Лошадь, свободно бѣгающая по кругу, не можетъ держаться прямо, поелику центробѣжная сила каждой части ея тѣла, толкаетъ горизонтально внѣ круга, и стрѣмится уронить ее. Чтобы противиться сему стрѣмленію дѣйствія центробѣжной силы, лошадь наклоняетъ корпусъ своего тѣла къ центру пробѣгаемаго ею круга, и сіе наклоненіе увеличивается какъ квадратъ ея скорости. Также, заметьте что оно весьма значительно, при скачкѣ лошади во вѣсь галопъ. Дабы лошадь, несмотря на таковое наклоненіе къ центру круга, могла ходить безъ большаго труда, то иногда наклоняютъ круглую дорогу, которую она пробѣгать должна [фиг. 2].

Берейторъ, стоящій на спинѣ лошади, равнымъ образомъ наклоняетъ корпусъ своего тѣла къ тому же центра, дабы не опрокинуться отъ дѣйствія центробѣжной силы. Фигура 2 показываетъ какое должно быть составленіе силъ между силою тяжести и центробѣжною силою, чтобы въ

Digitized by Google

положеніи лошади и волтижера существовало равновѣсіе.

Когда повозки на пути своемъ описываетъ дугу круга, или, какъ говорятъ, когда она поворачивается, то центробѣжная сила стараясь ее опрокинуть, являетъ на оную тоже самое дѣйствіе. Если она поворачивается на дорогѣ L, низходящей къ центру O, то центробѣжная сила и сила тяжести находятъ въ семъ положеніи туже выгоду, что и лошадь [фиг, 2], бѣгающая по дорогамъ AB, ED, около той же оси OO′.

Если дорога M горизонтальна, то ничто не уменьшаетъ стрѣмленія центробѣжной силы заставить опрокинуть повозку. Наконецъ, если дорога N низходитъ, удаляясь отъ центра кругового движенія, то наклонъ сей обладаетъ тѣмъ неблагопріятнымъ дѣйствіемъ центробѣжной силы, что на ономъ можно подвергнуться еще большей опасности опрокинуться. Посему, при поворотахъ должно бы быть главнымъ правиломъ, чтобъ никогда недѣлать внѣшняго наклона, а напротивъ, коль скоро возможно, всегда дѣлать одно склоненіе низходящее къ центру поворота.

Поелику центробѣжная сила находится въ обратномъ отношеніи діаметра переходимой дуги, то очевидно, что она будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ діаметръ дуги будетъ болѣе и, что сія становится тѣмъ болѣе, чѣмъ діаметръ дуги будетъ менѣе. Въ узкихъ поворотахъ, въ такихъ, которыхъ дуга имѣетъ весьма малый діаметръ, центробѣжная сила довольно значительна, слѣдовательно при оныхъ подвергаемся большой опасно-

Digitized by Google

сти опрокинуться. Въ тоже время, опасность сія увеличивается какъ *квадратъ* скорости повозки. Вотъ почему благоразумные кучера и верьховые ѣздоки при крутыхъ и узкихъ поворотахъ, никогда не пускаютъ лошадей съ большою скоростію, и коль скоро лошади бѣгутъ шибко, то при поворотахъ удерживаютъ ихъ.

Замѣтьте съ какою точностію, съ какою легкостію опредѣляетъ Механика всѣ дѣйствія круговаго движенія, въ важнѣйшихъ случаяхъ, для безопасности транспортовъ и путешествій. Механика научаетъ также правиламъ для построенія экипажей, основаннымъ на законахъ движенія.

Колесо [фиг. 3.], катясь быстро по песку или по грязи, поднимаетъ дѣйствіемъ его касательной скорости частицы сей грязи или сего песка, которыя не придерживаясь къ ободамъ или косякамъ колеса, съ силою равною центробѣжной силѣ, повинуются сей силѣ и разбрасываются съ приобрѣтаемою ими касательною скоростію. Предъ колесами нѣкоторыхъ экипажей дѣлаютъ крылья XY, удерживающія частицы грязи, поднимаемыя дѣйствіемъ касательной силы.

Если косяки колесъ несоединены между собою болтами до половины углубляемыми въ соприкосновенные концы ихъ и непокрыты шинами, закрывающими швы сіи, то центробѣжная сила, старающаяся ихъ безпрестанно удалять отъ центра, при большой скорости колеса оторветъ ихъ отъ спицъ и разбросаетъ какъ песокъ и грязь. Если гвозди прикрѣпляющіе шины къ косякамъ худо въ оныхъ держатся, то центробѣжная сила

Digitized by Google

вырветъ ихъ и размѣтаетъ по направленію продолженныхъ спицъ. Слѣдовательно, прочность соединенія косяковъ, такъ и гвоздей, укрѣпляющихъ сіи шины къ косякамъ, имѣетъ правила, опредѣленныя отношеніями силъ касательной и центробѣжной; тоже самое должно разумѣть, какъ мы въ послѣдствіи увидимъ, и о всѣхъ другихъ колесахъ, употребляемыхъ въ машинахъ.

Рабочій, производя сильные удары топоромъ или молотомъ, описываетъ кругъ инструментомъ своимъ, который будучи имъ оставленъ, пойдетъ по касательной линіи къ дугѣ имъ пробѣгаемой. Такимъ образомъ размахивали кругомъ и мѣтали *палицы*, *бердыши*, *пики*, *кинжалы*, и проч.; такимъ образомъ употреблялись пращи.

До изобрѣтенія огнестрѣльныхъ орудій, пращи были изъ важнѣйшихъ мѣтательныхъ оружій; а нынѣ, служатъ только для забавы дѣтей. По срединѣ легкой веревки ACB (фиг. 4), находится родъ петельки C, въ которую кладется камень. Соединивъ вмѣстѣ два конца A и B, берутъ ихъ рукою, послѣ чего пращѣ, сообщаютъ круговое движеніе. При употребленіи постоянной силы: 1. праща вращается съ постоянною скоростію; 2. веревка пращи всегда натянута и она производитъ на руку усиліе, которое представляетъ центрострѣмительную силу, необходимую для удержанія камня C въ одномъ и томъ же разстояніи отъ центра A. Если опустимъ одну изъ частей веревки, то сія центрострѣмительная сила перестанетъ противополагаться центробѣжной силѣ; камень небудетъ уже двигаться кругомъ, и касательная си-

Digitized by Google

ла дѣйствуетъ на него свободно, который при вертикальномъ мѣтаніи идетъ по прямой линіи.

Во всѣхъ случаяхъ, нами доселѣ описываемыхъ, мы непринимали въ разсужденіи дѣйствіе тяжести на тѣло А. Если примемъ въ соображеніе еще сіе дѣйствіе, то задача сдѣлается болѣе сложною.

Если заставимъ тѣло вращаться *въ пустомъ кругѣ*, тогда оно будетъ двигаться по поверхности круга съ постоянною скоростію, которая будетъ касательная сила, опредѣляющая скорость его поступательнаго хода. Сія касательная сила, которая заставляетъ тѣло удаляться по касательной, въ окружности пустаго круга будетъ находить безпрестанное сопротивленіе. Сіе сопротивленіе, перпендикулярное къ окружности, и слѣдовательно, направленное къ центру, будетъ центростремительная сила, равная и прямо противоположная центробѣжной силѣ.

Артиллерія употребляетъ бочки, вращающіяся около оси своей, въ которыя кладутъ дробь для полированія. Твердость сихъ бочекъ должна быть пропорціональна: 1. массѣ содержащейся въ оныхъ дроби; 2. центробѣжной силѣ дроби, которая пропорціональна квадрату касательной силы, употребляемой для кругообразнаго движенія дроби въ бочкахъ.

До сихъ поръ мы разсматривали только круговыя движенія тѣла, движущагося по кривой линіи,

Digitized by Google

поелику веревка, прутъ, плотный обводъ, заставляютъ его итти по сей кривой линіи, по причинѣ дѣйствія, направляемаго всегда къ центру движенія.

Природа представляетъ намъ въ примѣръ множество тѣлъ, которыя движутся по кривымъ линіямъ, небывъ удерживаемы никакою веревкою или внѣшнимъ обводомъ. Такимъ образомъ въ пространствѣ свободно движется Луна около Земли, а Земля около Солнца [фиг. 5].

Въ сихъ движеніяхъ, касательная сила Т, стрѣмится двигать Луну и планеты въ прямой линіи, а Земля служитъ для Луны фокусомъ центрострѣмительной силы С, которая въ каждое мгновеніе противудѣйствуетъ центробѣжной силѣ Луны, подобно какъ Солнце служитъ для Земли фокусомъ центрострѣмительной силы, которая опять безпрестанно противудѣйствуетъ центробѣжной силѣ Земли.

Если центрострѣмительная и касательная силы были въ равновѣсіи, тогда бы онѣ были въ отношеніи, приличномъ круговому движенію, и Луна описала бы кругъ около Земли, а Земля около Солнца. Но есть такія положенія, въ которыхъ касательная сила оказываетъ дѣйствіе свое не много сильнѣе; тогда Луна удаляется отъ Земли, а Земля отъ Солнца. Отъ сего удаленія ихъ, центробѣжное направленіе дѣлается косвеннымъ, относительно центральнаго направленія. Слѣдовательно, центрострѣмительная сила противополагается центробѣжной силѣ и уменьшаетъ оную, такимъ образомъ, что напротивъ сія послѣдняя окан-

Digitized by Google

чивлетъ тѣмъ, что немного преодолѣвать надъ первою. Тогда подвижное небѣсное свѣтило приближается къ центру своего движенія. Вотъ почему Луна около Земли, а Земля около Солнца, описываютъ растянутую кривуя, элипсисъ, котораго Земля есть фокусъ для эллипсиса, описываемаго Луною, а Солнце фокусъ эллипсиса, пробѣгаемаго Землею.

Центрострѣмительная сила Земли относительно къ Лунѣ, есть та сила, которую мы назвали *тяжестію* и *привлеченіемъ*. Сія сила заставляетъ безпрестанно спускаться бомбу, пущенную съ низу въ верхъ, и которая при косвенномъ метаніи бомбы, заставляетъ ее описать кривую ABC [фиг. 6].

Еслибы сила тяжести была постоянна и когда бы воздухъ не противополагалъ никакого сопротивленія движенію бросаемыхъ тѣлъ, тогда камень, бомба, ипроч. однимъ словомъ всякое тѣло, получивъ ударъ отъ первоначальной силы, пробѣжало бы *параболу* ABC.

Существенное сопротивленіе воздуха, много уменьшаетъ занимаемое кривою пространство; оно наипаче сжимаетъ вторую вѣтвь умственной параболы, и производитъ кривую AEF.

Въ Артиллеріи составляетъ важный предметъ опредѣленіе по массѣ и объему пушечныхъ ядеръ, бомбъ, гронатъ, брандскугелей, и проч. по силѣ и направленію первоначальнаго удара, тѣхъ точекъ, въ которыхъ бываетъ брошеное тѣло, при различныхъ высотахъ и разстояніяхъ. Здѣсь мы можемъ только упомянуть о сихъ важныхъ и превосходныхъ приложеніяхъ Механики; они соста-

Digitized by Google

вляютъ особенную науку, называемую *Балли-стикою.*

Долго полагали, что Земля неподвижна и занимаетъ центръ вселенной, но теперь ясно доказано, что она вращается около самой себя, и совершаетъ полный оборотъ въ продолженіи сутокъ. Итакъ, Обитатели Земли у Экватора находящейся, попричинѣ криваго движенія оной, переносятся отъ запада къ востоку, со скоростію въ чересчаразъ большею скорости пѣшехода, идущаго обыкновеннымъ шагомъ.

Посему каждая изъ точекъ Земли одушевлена касательною скоростію, стрѣмящеюся оторвать ее отъ шара и, центростремительною силою, которая напротивъ понуждаетъ оную итти къ центру Земли. Сія центростремительная сила есть привлеченіе Земли нашей. Что касается до касательной силы, которая почти одинакова для всѣхъ тѣлъ, близко одно къ другому лежащихъ, то сіи тѣла, побуждаемыя почти къ равному движенію, находятся одни въ отношеніи къ другимъ, въ состояніи близкомъ къ совершенному покою.

Пусть (фиг. 7) проэкція Земли параллельна Экватору, такъ что Параллельные Круги и Экваторъ изображаются кругами. Сравнимъ движеніе точекъ E и A, находящихся на Экваторѣ EE′E″, и на какомъ нибудь Параллельномъ Кругѣ AA′A″. Проведемъ радіусъ OyY, сколь возможно ближе къ діаметру EOE′. Опустимъ на EOE′, перпендикуляры xy и XY, то очевидно, что радіусы OA и OE, будутъ пропорціональны линіямъ EX и Ax, представляющимъ центробѣжныя силы матеріальныхъ

Digitized by Google

точекъ E и A. Слѣдовательно, при движеніи Земли около своей оси, центробѣжная сила каждой точки, пропорціональна разстоянію сей точки до оси.

Итакъ, наибольшая центробѣжная сила будетъ для точекъ E и E′, находящихся на Экваторѣ. Сія сила уничтожаетъ часть тяжести тѣлъ. Наконецъ, тяжесть на Экваторѣ гораздо менѣе, нежели во всякой другой точкѣ Земли. Мы скоро увидимъ, какимъ образомъ опытность можетъ доказать основательность сего вывода.

Пусть въ точкѣ E находится башня EF. Опишемъ изъ центра O, дугу FY′ и проведемъ Y′X′ перпендикулярно къ OF, то будетъ OE : OF = EY : FY′, что выражаетъ отношеніе касательныхъ силъ.

Пусть съ вершины башни F падаетъ какое нибудь тѣло, которое достигаетъ основанія оной тогда, когда вершина башни будетъ находиться въ точкѣ Y′. Тѣло сіе побуждается касательною силою, которая также заставитъ его пройти разстояніе EY′, слѣдовательно она должна упасть не въ Y, когда основаніе башни достигнетъ сей точки, но въ Z, на разстояніи EZ = FY′. Чтобъ выводъ сей сдѣлать очевиднымъ, представимъ его въ числахъ.

Радіусъ Земли при Экваторѣ = 20,914,808 футамъ. Положимъ, что въ одномъ изъ городовъ стоящихъ на Экваторѣ, построена башня вышиною въ 528 футовъ и представимъ, что требуется опредѣлить разность скоростей двухъ матеріальныхъ точекъ, изъ коихъ одна находится при основаніи башни, а другая при вершинѣ оной.

Digitized by Google

Радіусъ окружности круга, пробѣгаемаго первою точкою будетъ 20,914,808 футовъ, а другою 20,915,136 футовъ. Обратное отношеніе сихъ двухъ числъ есть отношеніе скоростей. Очевидно, что въ теченіе сутокъ, точка выше находящаяся пробѣжитъ болѣе разстоянія нежели нижняя, на количество 328 футовъ, умноженныхъ на отношеніи окружности къ радіусу: что составитъ почти 2061 футъ. Теперь представимъ, что тѣло въ пустомъ пространствѣ оставленное дѣйствію своей тяжести, употребитъ для пробѣжанія 328 футовъ около пяти секундъ, начиная отъ одной изъ точекъ окружности Экватора: что равно 17,280 части сутокъ. Раздѣливъ 2061 футъ на 17,280, получимъ количество, на которое верьхъ подастся къ востоку, скорѣе чѣмъ низъ башни, во время паденія сего тѣла. Итакъ, мы найдемъ что тяжелое тѣло должно упасть къ основанію башни не совершенно по вертикальной линіи, но къ востоку отъ сей вертикальной линіи на разстояніе около $\frac{2061}{17,280} = 1,43$ дюйма.

Поелику сопротивленіе воздуха значительно замедляетъ паденіе тѣлъ, то чтобы тѣло пробѣжало 328 футовъ потребно болѣе пяти секундъ. Слѣдовательно тѣло упадетъ къ востоку далѣе, нежели на 1,43 дюйма отъ основанія башни, и опытъ будетъ тѣмъ болѣе убѣдителенъ.

Когда твердое тѣло единообразно вращается около своей оси, то всѣ точки совершая въ тоже время полный оборотъ, будутъ имѣть скорость

Digitized by Google

пропорціональную окружности и, слѣдовательно радіусу пробѣгаемыхъ круговъ.

Но надвухъ различныхъ кругахъ, коихъ центры находятся въ центрѣ движенія, и единообразно обремененныхъ матеріальными частями, количество сихъ частей пропорціонально радіусу; слѣдовательно, для сихъ двухъ круговъ, количество движенія, то есть, произведеніе массы на скорость, пропорціонально радіусу умноженному на радіусъ: то есть, *квадрату* радіуса.

Изъ сего слѣдуетъ, что въ машинахъ имѣющихъ сквозныя колеса, представляющія двѣ круглыя равной ширины полосы ABC и *abc* [фиг. 8], количество движенія сихъ полосъ, когда каждая изъ оныхъ совершаетъ свой оборотъ въ одно и то же время, пропорціонально квадрату радіуса сихъ колесъ.

Посему, при равныхъ массахъ, большіе колеса труднѣе обращать чѣмъ малые. Напримѣръ, когда ABC въ трое болѣе и въ трое тяжелѣе *abc*, то чтобы ABC сдѣлало полный оборотъ въ одно время съ колесомъ *abc*, должно употребить въ трижды три или въ девять разъ болѣе количества движенія. Но если *abc*, неувеличиваясь сдѣлается въ трое тяжелѣе, то для сохраненія той же скорости должно утроить сіе количество движенія. Однако сіе устроенное количество будетъ еще весьма мало относительно количества движенія колеса ABC, поелику сія, въ девять разъ болѣе силы колеса *abc*.

Слѣдовательно, если я долженъ сообщить данной массѣ матеріи большое количество движенія,

Digitized by Google

то получу гораздо болѣе выгоды если раздѣлю сію массу поокружности, наибольшаго діаметра. Во многихъ машинахъ чрезвычайно важно прилагать такимъ образомъ наибольшее возможное количество движенія къ массѣ, которой бы вѣсъ не слишкомъ обремѣнялъ точки опоры. Симъ средствомъ, если случайныя неправильности, или раждающіяся отъ неравномѣрности движенія, стрѣмятся произвести вредныя ускоренія или замѣдленія, большое колесо снабженное постояннымъ круговымъ движеніемъ, можетъ приобрѣтать или тѣрять довольно значительное количество движенія не измѣняя много чрезъ то свою скорость, сіе колесо, говорю я, дѣйствуетъ какъ сохранитель, какъ уравнитель, производитъ часто чрезвычайно полезныя дѣйствія: сіи сохранители силъ называются *маховыми колесами*.

Часто, въ сихъ маховыхъ колесахъ вмѣсто непрерывной формы ABC (фиг. 8), сосредоточиваютъ въ трехъ или четырехъ равноотстоящихъ точкахъ A, B, C (фиг. 9), или A, B, C, D (фиг. 10), всю матерію, которая должна быть разположенною по ABC. Тогда сія матерія оставаясь въ одномъ среднемъ разстояніи отъ центра круговращенія, сохраняетъ при той же скорости, одно и тоже количество движенія.

Мы въ одно время докажемъ, что центръ вращенія O махавыхъ колесъ, долженъ быть вмѣстѣ и центромъ ихъ тяжести. Иначе, колесо будетъ влекомо въ одну сторону болѣе чѣмъ въ другую; движеніе его не будетъ имѣть ни правильности, ни единообразія; чтобы удовлетворить означенно-

Digitized by Google

му условію наивыгоднѣйшимъ образомъ, должно центръ маховаго колеса принять за центръ симметріи тяжестей его составляющихъ. Таковое правило соблюдено въ фиг. 9 и 10.

Можно доказать для всѣхъ твердыхъ тѣлъ, вращающихся около оси, какъ доказали для шара Земли, что центробѣжная сила пропорціональна разстоянію оси до каждой матеріальной точки.

Пусть плоскость фигуры 12 перпендикулярна къ сей оси, изображенной чрезъ точку G. Пусть матеріальныя равной массы точки, составляющія тѣло ABCD, будутъ m, m', ... M, M', ..., то разстоянія Gm, Gm'..... GM, GM', будутъ пропорціональны центробѣжнымъ силамъ.

Положимъ что центръ тяжести находится на оси G; проведемъ перпендикуляры mn, $m'n'$, ... MN, M'N', ... на какую нибудь прямую XGY, взятую за ось моментовъ равныхъ тяжестей m, m', ... M, M', ... Здѣсь должно быть, чтобъ

1. $m \times Gn + m' \times Gn' \ldots = M \times GN + M' \times GN' \ldots$
2. $m \times mn + m' \times m'n' \ldots = M \times MN + M' \times M'N' \ldots$

То есть, что центробѣжныя силы Gm, Gm', ... GM, GM', ... разложенныя: 1. перпендикулярно; 2. параллельно прямой XGY, имѣютъ равнодѣйствующую равную нулю, въ какомъ бы положеніи не разлагали оную параллельно плоскости фигуры. Итакъ, въ положеніи параллельномъ сей плоскости, *равнодѣйствующая центробѣжныхъ силъ тя-*

Digitized by Google

нетъ ось въ одну сторону не болѣе чѣмъ въ другую, когда сія ось проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла.

Теперь положимъ, что центръ вращенія g, отстоитъ отъ центра тяжести G, на разстояніе Gg и находится на оси xgy, параллельной XGY. Новыя центробѣжныя силы gm, gm', ... gM, gM', ... разложенныя параллельно Gg, будутъ имѣть равнодѣйствующею $m \times ml + m' \times m'l' + \ldots\ldots - M \times ML - M' \times M'L' \ldots$.

Равнодѣйствующая сія нисколько не измѣнится, если вычтемъ изъ оной $m \times mn + m' \times m'n' + \ldots\ldots$, а потомъ придадимъ равную величину $M \times MN + M' \times M'N' + \ldots$. Но замѣтимъ, что $ml - mn = m'l' - m'n' \ldots = MN - ML = M'N' - M'L' \ldots\ldots$ Посему результатъ предложеннаго сложенія и вычитанія будетъ сумма массъ $m + m' \ldots + M + M' \ldots\ldots$, умноженная на Gg.

Итакъ, *когда тѣло вращается около оси xgy, непроходящей чрезъ центръ тяжести* G, *то равнодѣйствующая центробѣжныхъ силъ увеличивается пропорціонально разстоянію центра до оси; она будетъ таже когда бы всѣ части тѣла были сосредоточены въ центрѣ* G.

Сіе дѣйствіе центробѣжной силы стрѣмится сдвинуть ось съ мѣста и безпрестанно увлекать ее отъ стороны центра тяжести. Сего неудобства должно избѣгать въ большой части вращательныхъ машинъ, наипаче въ тѣхъ, въ которыхъ находятся маховыя колеса. Итакъ, *должно принять за главное правило, чтобы центръ тяжести маховаго колеса, находился на оси вращенія.* Те-

Digitized by Google

перь разсмотримъ дѣйствіе центробѣжныхъ силъ, параллельныхъ оси. Положимъ [фиг. 12], что плоскость фигуры проходитъ чрезъ ось. Пусть ось будетъ XGY, полагая, что G есть центръ тяжести тѣла.

Разрѣжемъ тѣло рядомъ плоскостей mn, $m'n'$, $m''n''$, ... перпендикулярныхъ къ оси. Пусть точки m', m'', m''', ... представляютъ на плоскости фигуры проэкціи центровъ тяжести, матеріальныхъ точекъ содержащихся въ каждой плоскости. Равнодѣйствующая всѣхъ центробѣжныхъ силъ, изобразится равнодѣйствующею силъ $m \times mn$, $m' \times m'n'$, $m'' \times m''n''$.... Потомъ, для опредѣленія равнодѣйствующей сихъ силъ, должно сначала найти равнодѣйствующую P силъ, помѣщенныхъ по одну сторону оси и, равнодѣйствующую Q силъ, находящихся по другую сторону сей оси. Если двѣ силы P и Q, находятся на одной прямой перпендикулярной къ оси, и если сія ось проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла, то двѣ силы необходимо будутъ въ равновѣсіи. Слѣдовательно, дѣйствіе центробѣжныхъ силъ небудетъ побуждать ось двигаться ни въ которую сторону. Но какъ представлено въ фиг. 12, перпендикуляры Pp и Qq, опущенные на ось XGY, несоставляютъ одной прямой линіи, то ось будетъ побуждаема къ вращенію, дѣйствіемъ силъ P и Q, относительно умноженныхъ на разстоянія pG и qG. Моменты силъ P и Q относительно центра тяжести G, находятъ чрезъ умноженіе каждой силы $m \times mn$ на Gn, $m' \times m'n'$ на Gn', $m'' \times m''n''$ на Gn'', и проч.; потомъ должно смотрѣть будетъ ли сумма мо-

Digitized by Google

ментовъ силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону, равна суммѣ моментовъ силъ, дѣйствующихъ въ другую противоположную сторону.

Помощію вычисленія, котораго мы здѣсь означить не можемъ, доказываютъ, что сіе равенство обыкновенныхъ моментовъ есть необходимое условіе, чтобъ моментъ несамодѣйственности [инерціи] тѣла, взятаго въ отношеніи оси XGY, былъ *наибольшій* или *наименьшій*.

Посему очевидно, дабы дѣйствіе центробѣжныхъ силъ непроизводило ни въ какомъ случаѣ давленія на оси маховыхъ колесъ и вообще на оси, то силы P и Q должны быть на одной прямой перпендикулярной къ оси и, чтобы сія ось проходила чрезъ центръ тяжести.

Величайшая польза для хода машинъ, доставляемая осями, относительно которыхъ исполняется сіе условіе, оправдываетъ данное имъ наименованіе *главныхъ осей*.

Опредѣливъ наивыгоднѣйшее направленіе, которое надлежитъ давать осямъ маховыхъ колесъ, должно знать какую скорость могутъ они принять при употребленіи для движенія ихъ опредѣленной силы, когда объемъ, а также и масса маховыхъ колесъ равнымъ образомъ опредѣленныя.

Для большей простоты представимъ что ось вращенія перпендикулярна къ плоскости фиг. 11. и представлена чрезъ точку O; тѣло вращаемое около сей оси силою F*f*, отстоитъ отъ оси на разстояніе O*f*. Пусть F*f* находится въ плоскости фигуры. Усиліе, моментъ силы F*f*, потребный для вращенія оси изобразится чрезъ F*f*×O*f*.

Digitized by Google

Угловая скорость a тѣла, будетъ дуга пробѣгаемая въ продолженіе единицы времени, на кругѣ, котораго радіусъ есть также единица. Матеріальная точка m тѣла, пробѣжитъ въ продолженіе единицы времени дугу $mn = a \times Om$. Посему количество движенія точки m, будетъ $m \times a \times Om$, а все количество движенія точекъ m, m', m''..... тѣла, будетъ

$$a \times [m \times Om + m' \times Om' + m'' \times Om'' + \ldots]$$

Дабы измѣрить дѣйствіе, которое производитъ каждая частица, по причинѣ сего количества движенія, дабы заставить ось вращаться, то приведемъ всѣ точки m, m', ... на прямую линію fo, съ одной стороны оси, неизмѣняя разстоянія ихъ отъ оси. Тогда всѣ касательныя силы точекъ m, m', m'', ..., представленныя найденнымъ теперь количествомъ движенія, будутъ параллельны и направлены въ одну сторону; ихъ равнодѣйствующая Rr опредѣлится по правилу моментовъ, умножая каждую силу на разстояніе оной до оси; посему

$$Rr \times Or = a\ [m \times Om \times Om + m' \times Om' \times Om' + m'' \times Om'' \times Om'' \ldots]$$ или проще

$$Rr \times Or = a\ [m \times Om^2 + m' \times Om'^2 + m'' \times Om''^2 + \ldots]$$

Когда сила $Rr = F$ остается постоянною, то чѣмъ болѣе увеличивается сумма $m \times Om^2 + m' \times Om'^2 + m'' \times Om''^2 + \ldots$, тѣмъ болѣе уменьшается a; напротивъ, чѣмъ сумма сія становится менѣе, тѣмъ угловая скорость a будетъ болѣе.

Слѣдовательно, сумма сія представляетъ сопротивленіе, которое тѣло, попричинѣ его несамодѣйственности противополагаетъ вращательному дви-

Digitized by Google

женію, когда тѣло сіе побуждается данною силою. По сей то причинѣ называется онъ *моментомъ несамодѣйственности*. Посему моментъ несамодѣйственности матеріальной точки равенъ ея массѣ m, умноженной на квадратъ разстоянія оной до оси вращенія. Моментъ несамодѣйственности какого либо тѣла равенъ суммѣ моментовъ частицъ его составляющихъ. Наконецъ, *угловая скорость движущей силы, равна моменту сей силы, раздѣленному на моментъ несамодѣйственности тѣла.* Такова скорость, которую мы желали опредѣлить.

Моменты несамодѣйственности обладаютъ общими свойствами, весьма важными для Механики. Мы дадимъ объ нихъ одно только понятіе, ибо истолкованіе оныхъ требуетъ познаній превышающихъ предѣлы нашего курса. Разсмотримъ только двѣ матеріальныя точки m и m' [фиг. 12], коихъ центръ тяжести будетъ въ G и, пусть онѣ вращаются около оси XGY перпендикулярной къ mGm'; тогда для суммы моментовъ несамодѣйственности точекъ m и m', будемъ имѣть: $m \times Gm^2 + Gm' \times m'^2$. Теперь, пусть ось xgy, будетъ параллельна оси XGY, то моментъ несамодѣйственности, относительно сей новой оси, будетъ $m \times gm^2 + m' \times gm'^2$.

Разность сихъ двухъ величинъ есть $m \times Gg^2 + m' \times Gg^2$, то есть квадратъ разстоянія Gg, оси до центра тяжести, умноженный на сумму массъ m и m'. Свойство сіе справедливо не только для двухъ матеріальныхъ точекъ, но для всякаго другаго числа точекъ, образующихъ тѣло, коего фигура и

Digitized by Google

масса также суть произвольныя. Итакъ, при данномъ направленіи XGY оси вращенія, моментъ несамодѣйственности будетъ наименьшій, когда сія ось проходитъ чрезъ центръ тяжести G тѣла; и, когда она непроходитъ чрезъ центръ тяжести, то моментъ несамодѣйственности возрастаетъ на количество равное массѣ тѣла, умноженной на квадратъ разстоянія центра тяжести тѣла до его оси. Представимъ чрезъ MK^2, моментъ несамодѣйственности тѣла, когда ось проходитъ чрезъ центръ тяжести: K представляетъ тогда нѣкоторую длину. Слѣдовательно, назвавъ чрезъ D, разстояніе центра тяжести до какой нибудь оси вращенія, получимъ для момента несамодѣйственности, относительно сей оси, $M[D^2+K^2]$; величина, которую легко вычислить, если только знаемъ моментъ несамодѣйственности, взятый относительно прямой линіи параллельной оси и проходящей чрезъ центръ тяжести; очевидно, что всѣ оси, параллельныя данному направленію и въ одинаковомъ разстояніи D отъ центра тяжести находящіяся, имѣютъ одинъ и тотъ же моментъ несамодѣйственности $M\times[D^2+K^2]$.

Можно сравнить между собою моменты несамодѣйственности тѣлъ, взятыхъ въ отношеніи различныхъ осей, проходящихъ чрезъ центръ тяжести. Между всѣми сими осями находится одна такая, для которой моментъ несамодѣйственности менѣе моментовъ всѣхъ прочихъ. Ее можно назвать *осью наименьшаго момента несамодѣйственности.* Перпендикулярно къ сей оси проходитъ также чрезъ центръ тяжести другая, для кото-

Digitized by Google

рой моментъ несамодѣйственности есть возможно большій: ее можно назвать *осью наибольшаго момента не самодѣйственности*. Наконецъ, третья ось, перпендикулярная къ другимъ двумъ, которую можно наименовать *промежуточною осью*, обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что въ одну сторону, ея моментъ несамодѣйственности есть наибольшій, а въ другую наименьшій, относительно осей проведенныхъ: 1. въ плоскости сей третьей оси и оси меньшей несамодѣйственности; 2. въ плоскости сей третьей оси и оси большей несамодѣйственности. Показанныя нами теперь три весьма примѣчательныя оси, суть тѣ, которыя называются *главными осями* тѣла, объ которыхъ мы замѣтили, что центробѣжныя силы, ни въ какомъ направленіи, параллельномъ или перпендикулярномъ къ оси, не измѣняютъ положенія сихъ силъ.

Изъ сего слѣдуетъ, что тѣло, однажды приведенное въ движеніе около сихъ главныхъ осей вращенія, должно вѣчно продолжать движеніе свое около сей оси; поелику никакая центробѣжная сила, ни въ какомъ направленіи не совращаетъ положенія тѣла относительно сей оси. Посему можно заключить, что дабы оси вращательныхъ частей машины, оставались неподвижными, то вращающіяся части должны имѣть осью вращенія одну изъ ихъ главныхъ осей несамодѣйственности.

Когда тѣло, имѣющее одинаковую во всѣхъ частяхъ плотность, ограничено поверхностію вращенія и будетъ симметрическимъ въ отношеніи оси сей поверхности, то очевидно, что обернувъ

Digitized by Google

его около сей оси, центробѣжныя силы не измѣнятъ положенія оси вращенія; тогда сія ось будетъ одною изъ главныхъ осей тѣла.

При изъясненіи вращательныхъ машинъ, каковы суть: блоки, воротъ, кабестанъ, впроч. мы увидимъ, что подвижнымъ частямъ стараются дать фигуру поверхности вращенія, имѣющую осью самую ось вращенія, дабы избѣгнуть невыгодныхъ дѣйствій центробѣжныхъ силъ.

Во всѣхъ тѣлахъ, имѣющихъ ось симметріи, каждыя двѣ точки въ равномъ разстояніи отъ оси лежащія, находятся на одномъ перпендикулярѣ къ сей оси. Если тѣло обернемъ около его оси симметріи, то каждая изъ сихъ двухъ точекъ будетъ побуждаема равными и прямопротивоположными центробѣжными силами. Слѣдовательно сіи силы уничтожатся по двѣ и никакого непроизведутъ дѣйствія на оси. Посему, когда обернемъ тѣло около его оси симметріи, то оставивъ его самому себѣ, оно должно продолжать движеніе свое около сей самой оси.

Таково есть дѣйствіе хода волчка и юлы, вращающихся около ихъ оси симметріи, находящейся въ вертикальномъ положеніи, которыя продолжаютъ правильно двигаться, по полученіи первоначальнаго движенія помощію веревки, плетки, или просто повертывая стержень юлы между большимъ и указательнымъ пальцами, а потомъ оставивъ ее самой себѣ.

Мы уже доказали, что люстры суть симметрическія въ отношеніи вертикальной оси, проходящей чрезъ точку ихъ привѣса. Вотъ почему лю-

Digitized by Google

стры могутъ свободно вращаться около сей оси, не наклонясь въ одну сторону болѣе чѣмъ въ другую. Сіе дѣйствіе наиболѣе можно замѣтить при люстрахъ повѣшенныхъ въ весьма высокихъ сводахъ.

Сила Mv, переноситъ свободное тѣло M, прямо со скоростію v. Если приложимъ туже силу Mv къ тѣлу M, удерживаемому осью, гдѣ l есть разстояніе силы до сей оси, то будетъ Mvl, моментъ силы относительно оси, $= aM\,[D^2+K^2] = a \times$ моментъ несамодѣйственности тѣла, относительно оси.

Положимъ, что тѣло вращается около своей оси, не производя на оную никакого давленія; тѣло сіе будетъ двигаться какъ будто оно было свободно, а его центръ тяжести приобрѣтетъ скорость равную v; посему $v = Da$, а $Mvl = MDal = aM[D^2+K^2]$; откуда $Dl = D^2+K^2 \ldots\ldots l = D+\frac{K^2}{D}$

Центромъ вращенія, называютъ точку, которая находясь на продолженіе кратчайшаго разстоянія оси до центра тяжести, отстоитъ отъ центра тяжести на $\frac{K^2}{D}$, а отъ оси на $D+\frac{K^2}{D}$. Если сила будетъ дѣйствовать на его точку перпендикулярно къ сей прямой, то она заставитъ тѣло вращаться, не производя ни какого дѣйствія на ось. Слѣдовательно, равная и прямопротивоположная сила унижаетъ дѣйствіе вращенія произведенное первою, не причиняя никакого давленія на ось. Таково свойство центра вращенія: Пусть $\frac{K^2}{D} = d$, то будемъ имѣть $D = \frac{K^2}{d}$ и $l = d+\frac{K^2}{d}$; сіе показываетъ, что *ось можно перенести параллель-*

Digitized by Google

но центру вращенія, и что тогда центръ вращенія перенесется на другой конецъ разстоянія, на прежнюю ось.

Маятники.

Повѣсимъ на весьма тонкой и легкой ниткѣ тѣло, которое при меньшемъ объемѣ заключаетъ наибольшую массу, напримѣръ, желѣзный, свинцовый или платиновый шаръ. Укрѣпимъ другой конецъ нитки въ неподвижной точкѣ. Въ состояніи покоя шаръ приметъ положеніе, въ которомъ нитка будетъ вертикальна, а центръ его тяжести будетъ находиться въ вертикальномъ направленіи нитки: таковъ есть отвѣсъ. Смотри главу IV, фиг. 18 bis.

Отвѣсъ, приведенный въ движеніе, даетъ столь же полезное употребленіе какъ и отвѣсъ, находящійся въ покоѣ. Когда отвѣсъ, прикрѣпленный къ точкѣ C, удалимъ отъ вертикальнаго положенія, и оставимъ его самому себѣ, то неприемля въ разсужденіе никакого сопротивленія, примѣчаютъ слѣдующее.

Тѣло A [фиг. 15], начинаетъ спускаться съ нечувствительною скоростію. Скорость сія возрастаетъ болѣе и болѣе, когда оно, проходя точки A′, A″, A‴, ... приближается къ вертикальной CO; достигнувъ онаго, продолжаетъ движеніе свое и возвышаясь достигаетъ точекъ *a‴*, *a″*, *a′*, до *a*, совершенно на такую высоту какъ и точка A. Достигнувъ предѣла сего оно будетъ снова низходить чрезъ точки *a′*, *a″*, *a‴*, ... точно такъ какъ низходило изъ точки A; потомъ начнетъ возходить въ точки A‴, A″, A′, A, подобно то-

Digitized by Google

му какъ возходило въ точки a''', a'', a', a; опять остановится въ A, дабы снова начать низходить, какъ и въ первомъ случаѣ; и такъ далѣе въ безконечность.

Механика можетъ доказать законы сего попеременнаго движенія, называемаго *качаніемъ*. Отвѣсъ сей, называется *маятникомъ*, когда его употребляютъ для произведенія качаній, а не для означенія вертикальнаго направленія.

Въ каждое мгновеніе низхожденія маятника, начиная отъ точки A до O, притяженіе Земли побуждаетъ его приблизиться къ центру оной; сіе притяженіе соединяется съ приобрѣтенною касательною силою и производитъ ускореніе, которое неимѣло бы предѣловъ, еслибъ неудерживала нитка AC, производящая дѣйствіе центростремительной силы.

Пусть Ag [фиг. 14] изображаетъ дѣйствіе тяжести; AX, касательную силу, приобрѣтенную отвѣсомъ, когда онъ находится въ точкѣ A; Ap, центростремительная сила, то:

1. $Ap = \frac{AX^2}{AC}$.

2. Двѣ силы Ag и Ap, соединяются съ касательною силою A. Проэктируя Ag въ Ag' на касательную къ кругу въ точкѣ A; потомъ проэкцію сію Ag' прибавивъ къ AX, при низхожденіи маятника; напротивъ вычтя туже проэкцію при возхожденіи его, получимъ касательную силу въ концѣ времени, употребленнаго маятникомъ для пробѣжанія дуги равной AX.

Digitized by Google

Посему то при возхожденіи маятника, въ каждомъ равномъ промежуткѣ времени, постепенно отнимаютъ равныя количества, которыя сначала прибавляли къ центробѣжной силѣ. Итакъ, сила сія одинакова, какъ при восхожденіи, такъ и при низхожденіи, для точекъ равноудаленныхъ отъ самой нижней точки; слѣдовательно, когда она съ одной стороны есть нуль, то съ другой, будетъ на той же высотѣ.

Итакъ, теорія доказываетъ то, что узнаетъ опытность, то есть: равенство и симметрію возхожденія и низхожденія маятника.

Другое превосходное свойство маятниковъ состоитъ въ томъ, что все продолженіе времени двухъ *малыхъ* качаній или размаховъ остается почти тоже, хотя бы дуга перейденная въ одинъ изъ сихъ размаховъ будетъ двойная, тройная, четверная, и проч. дуги перейденной въ другое качаніе или размахъ: однимъ словомъ, каково бы нибыло отношеніе пробѣгаемыхъ дугъ.

Для доказательства свойства сего, представимъ себѣ два равныя маятника CA и *ca* (фиг. 15 и 16), различно удаленные отъ вертикальной линіи, при началѣ качанія. Пусть дѣйствіе тяжести въ обѣихъ фигурахъ представлено чрезъ AG=*ag*, которая одна только дѣйствуетъ въ первое мгновеніе. Проэктируемъ AG на дугу AV въ AG′, и *ag* на дугу *av* въ *ag′*; то AG′ и *ag′*, изобразятъ касательныя силы.

Проведемъ двѣ горизонтальныя линіи AY и *ay* до вертикальныхъ CV и *cv*. Поелику трехуголь-

Digitized by Google

никъ AGG′ можно предположить чрезвычайно малымъ, то дуга AG′ можетъ быть принята за прямую линію, перпендикулярную къ GG′ и къ CA; тогда два прямоугольные трехугольника AGY и AGG′ будутъ подобны, поелику соотвѣтствующія стороны ихъ взаимно перпендикулярны.

Равнымъ образомъ докажется [фиг. 16], что два прямоугольные трехугольника *acy* и *agg′* также суть подобны. Посему получимъ пропорціи:

$$AC : AG = AY : AG'$$

$$ac : ag = ay : ag'$$

Но $AC = ac$ и $AG = ag$, то

$$AY : AG' = ay : ag'$$

Если теперь положимъ, что размахъ весьма малъ, то разность между AY и дугою AV не будетъ нечувствительна; тоже самое будетъ между *ay* и дугою *av*. Итакъ, пространство перейденное въ первое время почти пропорціонально пространству дугъ AV и *av*.

Также докажется, *по приближенію*, что въ концѣ 2, 3, 4, 5 временъ, прибавленная касательная скорость, а слѣдовательно и пространство, перейденное первымъ и вторымъ маятниками въ продолженіи каждаго изъ сихъ временъ, пропорціонально перейденнымъ дугамъ. Итакъ, когда пространство, остающееся для пробѣжанія первому маятнику будетъ нуль, то и остальное пространство втораго будетъ также нуль и, оба маятника въ одно время достигнутъ предѣла качанія. Слѣдовательно, пренебрегая весьма малыя разности, размахи будутъ равновременны.

Digitized by Google

Вотъ что содѣлываетъ послѣднее свойство весьма полезнымъ для художества и наукъ. Когда маятникъ приведенъ въ движеніе и оставленъ дѣйствію собственной тяжести, то сопротивленіе воздуха, препятствуя всѣмъ его движеніямъ, постепенно ихъ уменьшаетъ, отъ чего уменьшается и полнота качаній. Покрайней мѣрѣ сіи качанія или размахи сохраняютъ тоже продолженіе времени.

При употребленіи весьма тяжелаго маятника, какъ напримѣръ свинцоваго и наипаче платиноваго, тѣло сіе испытуетъ слабое сопротивленіе, которое весьма мало измѣняетъ продолженіе времени сихъ размаховъ: посему они сохраняютъ ихъ первоначальное продолженіе времени, при значительномъ числѣ размаховъ, Но непрерывное повтореніе качаній скопляя малыя сопротивленія воздуха, постепенно уменьшаетъ полноту качаній. Однако, несмотря на сіе, качанія не перестаютъ быть между собою примѣтно равными: но еще, весьма слабая разность, существующая между послѣдовательными приближеніями времени, уменьшается помѣрѣ того, какъ качанія сіи болѣе разнствуютъ отъ первоначальнаго качанія.

Тѣла падаютъ скорѣе, изъ точекъ болѣе близкихъ къ центру Земли; также нашли, что *въ продолженіе одного и того же времени, вертикальное пространство свободно проходимое двумя тѣлами, оставленными дѣйствію своей тяжести, находится въ обратномъ отношеніи квадрата разстояній отъ центра земли съ сихъ тѣлъ.*

Итакъ, когда длина маятниковъ находится въ обратномъ отношеніи квадрата разстоянія его до

центра Земли, то маятники производятъ качанія свои въ одно и тоже время.

Наблюденія Астрономовъ, относительно измѣренія земли доказали, что Земля наша къ Полюсамъ сжата, такъ что обитатели оной, при приближеніи къ Полюсу, болѣе приближаются къ центру Земли. Посему вы видите, что маятники, совершающіе равновременные размахи, при Полюсахъ должны быть длиннѣе, чѣмъ при Экваторѣ. Такъ что удаляясь отъ Экватора и помѣрѣ приближенія къ Полюсу, должно увеличивать длину маятника, дабы сохранить равновременность размаховъ. Сверьхъ того, по длинѣ маятника можно узнать разстояніе центра Земли до точки, въ которой качается маятникъ.

По причинѣ круговаго вращенія Земли, небольшая часть тяжести тѣлъ уничтожается, для противувѣсія ихъ центробѣжной и, для удержанія ихъ на поверхности Земли. Сія сила, ничтожная при полюсахъ дѣлается наибольшею при Экваторѣ.

Совокупляя сіи двѣ причины измѣненій, узнаютъ согласіе теоріи и опытности. Благодаря прибору изобрѣтенному остроумнымъ Геометромъ Бордо, можно помощію весьма удобнаго маятника, получить чрезвычайную точность. Симъ то маятникомъ измѣрили разстоянія центра земли до точекъ поверхности шара, образующихъ меридіанъ, котораго мѣра служитъ основаніемъ Французской метрической системы.

Непринимая измѣненія тяжести, положимъ что измѣняется только длина нитки привѣса, и раз-

Digitized by Google

смотримъ два неравные маятника (фиг. 17 и 18) CA и *ca*, таковые что $AC : ac = m^2 : 1$.

Пусть еще, дуга AV : дугѣ $av = m^2 : 1$. Фигуры ACV и *acv*, будутъ подобны. Пусть *ag* будетъ пространство, которое тяжесть заставитъ пробѣжать во время $t = 1$, матеріальную точку *a*, предполагая ее свободною; пусть $AG = m^2 \times ag$. Тогда AG представитъ пространство, отъ дѣйствія тяжести переходимое свободнымъ тѣломъ A въ *m* временъ.

Проэктируемъ AG въ AG′, а *ag* въ *ag′*, то по подобію трехугольниковъ AGG′ и *agg′*, будетъ $AC : ac = AG : ag = AG' : ag' = AV : av$. Итакъ, пространства AG и *ag′*, пробѣгаемыя маятниками, отъ повторяемаго дѣйствія тяжести, когда первый употребляетъ на то *m* временъ, а второй 1 времени, будутъ пропорціональны дугамъ AV и *av*. Итакъ, маятники двигаются пропорціонально на дугахъ AV и *av*; времена перваго будутъ *m*, когда втораго есть 1. Посему всѣ времена, употребленныя маятниками для достиженія отъ самой возвышенной точки до вертикальной линіи, относятся между собою какъ $m : 1$, когда длины маятниковъ суть въ отношеніи $m^2 : 1$. То есть, въ одномъ и томъ же мѣстѣ Земли : *длины неравныхъ маятниковъ, пропорціональны квадратамъ временъ, употребляемымъ сими маятниками для произведенія размаховъ.*

Галилей, знаменитый Итальянскій Геометръ, которому новѣйшая Механика обязана превосходнѣйшими открытіями, первый узналъ сей законъ дви-

Digitized by Google

женія маятниковъ. Онъ весьма удачно примѣнилъ его къ измѣренію высотъ сводовъ и куполовъ.

Въ храмахъ и дворцахъ, вѣшаютъ обыкновенно въ самыхъ возвышенныхъ точкахъ сводовъ и куполовъ, люстры или паникадила весьма тяжелыя въ отношеніи къ веревкѣ или цѣпи ихъ поддерживающей. Малѣйшее колебаніе воздуха можетъ сообщить качательное движеніе симъ огромнымъ маятникамъ. Галилей наблюдалъ продолженіе времени сихъ качаній. Онъ замѣтилъ, напримѣръ, что если маятникъ, представленный таковымъ паникадиломъ, качался десять разъ, между тѣмъ какъ другой только одинъ разъ, то длины ихъ относились какъ квадраты временъ качаній или какъ сто къ единицѣ, слѣдовательно первый маятникъ былъ во сто разъ длиннѣе втораго. Если длина меньшаго маятника извѣстна, то взявъ оную сто разъ, получимъ длину большаго; а тогда, зная разстояніе паникадила отъ полу, можно узнать и высоту купола. Такимъ образомъ, маятникъ можетъ служить для измѣренія времени, помощію равновременности качаній; онъ же можетъ быть употребленъ и для измѣренія высотъ, чрезъ увеличиваніе или уменьшеніе сихъ качаній.

Въ Парижской обсерваторіи весьма точно опредѣлена длина секундного маятника, которая для онаго мѣста составляетъ 3,2597267 фута.

Еслибы Римляне и Греки знали сіи доставляемыя наукою средства, то нынѣ можнобы было снова опредѣлить всѣ ихъ мѣры; и, множество предложеній, существенныхъ для наукъ и художествъ никогда бы не остались нерѣшеными.

Digitized by Google

Часовые мастера, сдѣлали весьма замысловатое примѣненіе маятника къ устройству машинъ, служащихъ для измѣренія времени.

Представимъ металлическій кругъ, къ центру выпуклый, имѣющій форму зерна чечевицы, который по сей причинѣ называется *чечевицею*. Повѣсимъ кругъ сей на стержнѣ, котораго направленіе приходитъ чрезъ центръ сего круга. Если приведемъ систему сію въ качательное движеніе около другой оконечности стержня, то получимъ маятникъ, употребляемый часовыми мастерами. Каждый размахъ сего маятника, который долженъ совершаться въ равныя времена, соотвѣтствуя постоянному ходу часовъ, служитъ сохранителемъ силъ и уравнителемъ.

Таковое устроеніе было бы совершенно, еслибъ вещества составляющія маятникъ, неизмѣнялись въ своихъ размѣреніяхъ. Но отъ дѣйствія теплоты стержень дѣлается длиннѣе, а отъ дѣйствія холода онъ укорачивается. Посему измѣненія температуры, безпрестанно измѣняютъ продолженіе времени качаній описаннаго теперь маятника.

Для того изобрѣли *маятники съ вознаградителями*, то есть маятники, въ которыхъ вознаграждаются измѣненія длины различныхъ частей.

Замѣтили, что приувеличеніи теплоты мѣдные стержни удлиняются гораздо болѣе нежели желѣзные, а при уменьшеніи оной гораздо болѣе укорачиваются. Посему, простой стержень замѣнили соединеніемъ нѣсколькихъ мѣдныхъ и желѣзныхъ стержней

Digitized by Google

Представимъ себѣ желѣзный стержень AB [фиг. 19], при нижней оконечности котораго утверждена горизонтальная поперечина CD, поддерживающая два мѣдные бруска CE и DF. Другая горизонтальная поперечина, посрединѣ которой находится отверстіе для пропуска стержня AB, соединяется съ мѣдными брусками CE и DF. На оконечностяхъ K и L сей поперечины находятся два желѣзные бруска KM и LN, соединенные съ чечевицею O, помощію горизонтальной поперечины MN. Здѣсь очевидно, что при увеличеніи теплоты, желѣзные брусочки AB и KM, коихъ дѣйствительная высота есть AI, увеличиваютъ удаленіе чечевицы отъ точки привѣса A, пропорціонально сей высотѣ AI. Мѣдные брусочки EC и DF вытягиваясь отъ дѣйствія теплоты заставляютъ подниматься поперечину KL, а слѣдовательно, въ тоже время желѣзные брусочки KM и LN, и вмѣстѣ прикрѣпленную къ нимъ чечевицу O. Количество, на которое поднимается чечевица отъ дѣйствія мѣдныхъ брусочковъ, пропорціонально длинѣ EC или FD. Изъ сего выходитъ, что если длины AI и EC, относительно пропорціональны расширенію мѣди и желѣза, то центръ чечевицы отъ расширенія желѣза опустится на тоже количество, накоторое онъ отъ расширенія мѣди поднимется. То что мы теперь сказали, когда теплота увеличивается, можетъ равнымъ образомъ быть и при уменьшеніи оной. Въ семъ послѣднемъ случаѣ, количество, на которое отъ сжиманія желѣза поднимается центръ тяжести чечевицы бу-

Digitized by Google

детъ равно количеству, на которое отъ сжиманія мѣди онъ опускается.

Мы до сихъ предполагали, что маятникъ состоитъ изъ нетяжелой металлической нити, на которой повѣшена какого нибудь вѣса матеріальная точка; но въ природѣ таковыхъ маятниковъ мы ненаходимъ. Употребляютъ ли гибкую нить или твердый прутъ, то каждая изъ ихъ частей имѣетъ нѣкоторый вѣсъ и объемъ; тѣло разсматриваемое нами какъ матеріальная точка имѣетъ также три размѣренія, которыя препятствуютъ принять ее за простую математическую точку. Таковый маятникъ называется *сложнымъ маятникомъ;* посмотримъ каковому закону слѣдуютъ качанія онаго.

Повѣсимъ въ одной точкѣ, на той же оси два равной массы маятника, одинъ простой CO [фиг. 14], а другой сложный CDEF. При спокойномъ состояніи маятниковъ сихъ, стержень простаго будетъ имѣть вертикальное положеніе и пройдетъ чрезъ центръ тяжести сложнаго маятника. Толкнемъ два маятника съ горизонтальною скоростію, дѣйствующею отъ оси на разстояніи R. Поелику въ первую минуту, дѣйствіе тяжести разрушается осью, то дабы два маятника приняли одну и туже угловую скорость, должно чтобы центръ вращенія сложнаго маятника былъ удаленъ отъ оси на количество R, равное длинѣ простаго маятника. Итакъ $R = D + \frac{K^2}{D}$.

Посмотримъ теперь какое дѣйствіе произведетъ тяжесть на два маятника, когда они удалятся

Digitized by Google

отъ вертикальной линіи. Положимъ, что тяжесть начинаетъ дѣйствовать на стержень GO [фиг. 14] простаго маятника, который проходитъ чрезъ G центръ тяжести сложнаго маятника. Пусть OL = GI будетъ вертикальная высота, измѣряющая дѣйствіе тяжести двухъ маятниковъ, въ чрезвычайно малое время *t*. Разложимъ OL и GI на O*l* и G*i* перпендикулярно къ CGO.

Дѣйствіе тяжести, на центръ тяжести сложнаго маятника, изобразится чрезъ G*i*; дѣйствіе тяжести на простой маятникъ будетъ O*l* = G*i*. Но точка O находится въ центрѣ вращенія сложнаго маятники, то сила GI, перенесенная въ O*l*, заставитъ маятникъ вращаться, какъ будто она сосредоточена въ O, то есть, какъ будто сложный маятникъ замѣненъ простымъ маятникомъ. Итакъ: 1 два простые маятника, чрезъ постепенное дѣйствіе тяжести, будутъ продолжать качаться съ одинаковою скоростію; 2 длина простаго маятника будетъ разстояніе оси до центра вращенія, который тогда называется *центромъ качанія*. Итакъ, когда въ сложномъ маятникѣ примемъ ось привѣса за ось вращенія, то центръ вращенія будетъ центръ привѣса.

Мы видѣли выше, что если ось вращенія перенесемъ параллельно, изъ C въ O, то центръ вращенія перенесется изъ O въ C, на прямой CGO. Посему, если ось привѣса сложнаго маятника перенесемъ изъ C въ O, то центръ качанія перенесется изъ O въ C, и будетъ находиться на прежней оси привѣса. Свойство сіе употребляютъ для опредѣленія и повѣрки длины простаго маят-

Digitized by Google

ника, котораго качанія совершаются въ равныя времена съ качаніями сложнаго маятника.

Разсматриваніе сложныхъ маятниковъ, относительныхъ положеній ихъ центровъ тяжести, ихъ центровъ качаній, чрезвычайно важно нетолько для мастерства часовыхъ дѣлъ, но и для попеременныхъ движеній большаго числа машинъ, наипаче для движеній корабля, извѣстныхъ подъ именемъ *боковой* и *килевой качки*. При описаніи силы воды [III томъ] мы представимъ особенныя досего послѣдняго предмета касающіяся приложенія.

Уравнитель паровыхъ машинъ. Въ паровыхъ машинахъ для уравненія образованія паровъ и ихъ дѣйствія на поршень, употребляютъ весьма замысловатые сложные маятники. Два желѣзные шара припаяны къ двумъ желѣзнымъ стержнямъ, которые могутъ качаться около горизонтальной оси, пересѣкающей вертикальную ось. Вращеніе оси сей сообщаетъ двумъ сложнымъ маятникомъ центробѣжную силу, отъ которой они вмѣстѣ съ нею и движутся; каждый маятникъ возвышается до тѣхъ поръ, пока равнодѣйствующая сихъ двухъ силъ будетъ проходить чрезъ ось привѣса и, слѣдовательно пока будетъ уничтожена. Поелику оба шара равныхъ массъ и въ отношеніи оси расположены симметрически, то при каждомъ мгновеніи они поднимаются и опускаются на одно и тоже количество; вѣнецъ свободно вращающійся около вертикальной оси, помощію двухъ ручекъ соединяется со стержнями двухъ маятниковъ. Посему вѣнецъ сей по мѣрѣ удаленія или приближенія ша-

Digitized by Google

ровъ отъ оси, то поднимается выше, то опускается ниже. Вѣнецъ сей, заставляетъ двигаться ручку рычага, который открываетъ или запираетъ отверстіе для выпуска лишнихъ паровъ. Смотри III томъ о движущихъ силахъ.

Digitized by Google

Digitized by Google

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

О рычагѣ.

Мы разсмотрѣли все то что относится до непосредственной передачи движеній производимыхъ помощію совершенно *гибкихъ* веревокъ. Веревки сіи могутъ только *тянуть;* но *негибкія* прутья могутъ также и *толкать* и *тянуть*.

Многіе инструменты имѣютъ предметомъ служить посредниками между силою и сопротивленіемъ, направленными по прямой линіи. Таковы суть древки банниковъ [фиг. 2] и пыжевниковъ [фиг. 3] въ Артиллеріи; багры [фиг. 4]; стержни поршней; иproч.

Не необходимо, чтобы негибкій прутъ AB [фиг. 1] былъ въ прямой линіи; достаточно чтобъ кривая была постоянной формы. Если приложимъ къ точкѣ B силу, которая тянетъ или толкаетъ ее по направленію AB или BA, то дѣйствіе будетъ такое же когда бы прутъ былъ прямой.

Рычагъ есть негибкій прутъ, подпертый въ постоянной точкѣ, называемой *точкою опоры*, на который въ другой точкѣ дѣйствуетъ сила уничтожающая сопротивленіе находящееся въ третьей точкѣ. Рычаги бываютъ трехъ родовъ. Въ рычагѣ *перваго рода* [фиг. 5], точка опоры A, находится между силою P и сопротивленіемъ R. Въ рычагѣ *втораго рода* [фиг. 6], сопротивленіе R, находится между силою P и точкою опоры A. Въ рычагѣ *третьяго рода* [фиг. 7], сила P, нахо-

Digitized by Google

дится между сопротивленіемъ R и точкою опоры A.

Положимъ, что непяжелый рычагъ будетъ прутъ BAC [фиг. 5], BCA [фиг. 6] и CBA [фиг. 7], перпендикулярный къ направленію силы и сопротивленія.

Усиліе силы P и сопротивленія R можетъ быть уничтожено точкою опоры A, которая одна только постоянна во всей системѣ; посему равнодѣйствующая силы P и сопротивленія R должна проходить чрезъ точку A; итакъ:

$$P \times AB = R \times AC.$$

То есть: *сила, умноженная на разстояніе до точки опоры, ровна сопротивленію умноженному на разстояніе его до той же точки опоры.*

Если рычагъ BAC, перпендикулярный къ направленію силъ P и R, замѣнимъ наклоннымъ рычагомъ bAc, *кривымъ* или *прямымъ*, то равнодѣйствующая должна всегда проходить чрезъ точку A и должно быть, чтобъ

$$P \times AB = R \times AC,$$

гдѣ AB и AC, суть мысленныя прямыя линіи, перпендикулярныя къ направленію силъ P и R.

Для простоты дѣйствій, мы можемъ всегда предполагать, что каждое плечо рычага есть прямая, перпендикулярная къ направленію силы, приложенной въ концѣ сего плеча.

Пусть будутъ двѣ равныя силы P и R [фиг. 6], перпендикулярныя къ равнымъ плечамъ AB и AC, коленчатаго рычага BAC. Поелику сіи двѣ силы побуждаютъ рычагъ вращаться около точки опоры въ противныя стороны, то дѣйствіе на ту и

Digitized by Google

другую сторону будетъ одинаково и, система останется въ равновѣсіи: равновѣсіе сіе будетъ существовать, какова бы ни была величина угла BAC.

Представимъ теперь силу r, равную и прямопротивоположную силѣ R; сіи двѣ силы будутъ въ равновѣсіи. Итакъ сила r производитъ тоже дѣйствіе на сопротивленіе R, какъ и сила P. Посему двѣ равныя силы P и r, приложенныя къ концамъ равныхъ плечь AB и AC рычага, имѣютъ одинаковую способность дабы заставить вращаться постоянную точку A.

Напримѣръ, если прямая AB представляетъ брусъ, къ которому припряжена лошадь, тянущая его по направленію PB, то дѣйствіе лошади на точку A будетъ одинаково для всѣхъ точекъ круга, пробѣгаемаго брусомъ AB: если только неизмѣнится разстояніе точки A до BP.

Теперь положимъ, что двѣ какія нибудь силы P и R (фиг. 9), будутъ приложены къ какому нибудь рычагу BAC; пусть точка опоры будетъ A, и представимъ что AB вращаютъ до Ab, такъ что BP содѣлывается bp параллельною CR. Поелику равнодѣйствующая параллельныхъ силъ R и p, должна всегда проходить чрезъ постоянную точку A, то

$$R \times AC = p \times Ab = P \times AB.$$

Итакъ, *каковы бы ни были направленія силы и сопротивленія, всегда должно быть, чтобъ сила, умноженная на разстояніи ея до точки опоры, равна была сопротивленію, умноженному на его разстояніе до точки опоры.*

Приложеніе къ передачѣ движеній. Если помощію веревокъ желаютъ передать движеніе по

Digitized by Google

двумъ различнымъ направленіямъ BP и CR, то употребляютъ согнутый рычагъ BAC (фиг. 9 и 10), прикрѣпляя къ нему двѣ веревки, двѣ цѣпи, два снурка, или двѣ металлическія проволоки BP и CR. Вершина A угла BAC утверждается на маленькой оси, около которой вращается рычагъ; точка сія есть точка его опоры.

Когда при передачѣ малаго движенія, тянутъ за веревку P (фиг. 10), то B придетъ въ *b*, и дуга B*b* будетъ весьма мало разнствовать отъ части прямой BP; слѣдовательно, веревка BP, неизмѣнитъ такъ сказать своего направленія. Тоже самое будетъ въ разсужденіи веревки CR, тянущей второе плечо рычага.

Такова система, употребляемая для разположенія металлическихъ проволокъ, проводимыхъ отъ колокольчика, находящагося въ томъ мѣстѣ гдѣ обыкновенно бываютъ слуги до снурка, который привязывается въ томъ мѣстѣ куда ихъ позвать желаютъ. Въ большихъ машинахъ для передачи попеременныхъ движеній также употребляютъ систему веревокъ и согнутаго рычага.

Положимъ, что должно попеременно поднимать и опускать поршень MM (фиг. 12) въ насосѣ, помощію горизонтальной силы, дѣйствующей по направленію BP. Очевидно, что помощію прямоугольно согнутаго рычага BAC, когда потянутъ за веревку въ сторону означенную стрѣлкою, плечо онаго AC возвышается, заставляя подниматься поршень M. Если требуется чтобъ стержень CT поршня, оставался всегда въ одномъ вертикальномъ направленіи, то оный долженъ сохранять

Digitized by Google

касательное направленіе къ дугѣ Cc, описанной изъ точки A какъ центра.

Если опустимъ веревку BP, то вѣсъ поршня приводитъ рычагъ въ его естественное положеніе, послѣ чего веревка снова начинаетъ дѣйствовать, чтобы поднять поршень. *Попеременными движеніями*, называютъ сіи движенія, которыя совершаются то по одному, то по другому направленію. Качанія маятника представляютъ намъ первый примѣръ подобныхъ движеній. Механика, съ большою выгодою прилагаетъ ломанный рычагъ къ дѣйствію *пиленія*. Пила DS (фиг. 13 *bis*) помощію болта въ D, соединяется съ прутомъ DC, соединеннымъ въ C также болтомъ съ плечомъ CA рычага CAB; между тѣмъ сила P дѣйствуетъ на негибкій прутъ BP. Если потянемъ за BP, то плечо AC рычага, опишетъ дугу, и пила подвинется къ рычагу; подвинувъ же BP назадъ, произойдетъ противное дѣйствіе, и рычагъ подвинетъ пилу назадъ. Такимъ образомъ Механика подражаетъ движенію пильщиковъ (фиг. 13), коихъ члены CABPRS и *cabprs*, суть ломанные рычаги.

Рычагъ, доставляетъ средство весьма малою силою, привести въ равновѣсіе весьма большую силу. Если, напримѣръ, сопротивленіе во сто разъ ближе къ точкѣ опоры, чѣмъ сила, то при движеніи оно пробѣгаетъ во сто разъ меньшее пространство; слѣдовательно сопротивленіе должно быть во сто разъ болѣе силы (*).

(*) Если произведеніе сопротивленія на его плечо рычага менѣе произведенія силы на свое плечо рычага, то произойдетъ дви-

Digitized by Google

Иной, худо понявъ основанія Механики и убѣжденный таковымъ результатомъ, вообразитъ, что помощію машинъ можно создать силу. Въ самомъ дѣлѣ, поелику весьма малою силою можно привести въ равновѣсіе весьма большую, то сею малою силою можно преодолѣть среднее сопротивленіе, и сохранить еще остатокъ силы, достаточный для произведенія значительныхъ дѣйствій.

Чтобы замѣтить погрѣшность таковаго разсужденія достаточно разсмотрѣть движеніе рычага. Положимъ, что силы P и R (фиг. 10), помощію рычага BAC приводятся въ равновѣсіе; увеличивъ не много силу P, равновѣсіе рушится и произойдетъ движеніе; плечо AB рычага, начнетъ вращаться въ сторону силы BP, между тѣмъ какъ плечо AC рычага, движется въ сторону RC, противоположную сопротивленію Въ концѣ какаго нибудь времени два плеча рычага пройдутъ равные углы BA*b* и CA*c*; слѣдовательно дуги B*b* и C*c*, перейденныя точками B и C, пропорціональны длинѣ плечь AB и AC рычага.

Но $P : R = AC : AB$.

то $P : R =$ дуга Cc : дугѣ Bb.

Итакъ, если предположимъ, что равновѣсіе нарушено, то силы P и R, обратно пропорціональны дугамъ, переходимымъ ихъ точками приложенія.

Изъ сего доказательства видно, что сила ура-

женіе въ сторону силы, и машина подвинется впередъ; но она будетъ имѣть сіе движеніе только по причинѣ дѣйствія части силы, которая не изтрачивается для приведенія въ равновѣсіе сопротивленія. Посему, когда желаютъ имѣть часть силы, которая должна произвести движеніе, то сію часть надлежитъ всегда вычитать.

Digitized by Google

вновѣшивающая сопротивленіе, должна проходить дугу, тѣмъ большую, чѣмъ она будетъ менѣе относительно сопротивленія; итакъ, чтобъ сила уравновѣшивала сопротивленіе, то она должна терять въ проходимомъ пространствѣ то, что выигрываетъ въ собственной силѣ. Слѣдовательно количество движенія, измѣряющее произведеніе каждой силы на перейденное пространство, есть тоже состороны сопротивленія, и сіе количество не будетъ увеличиваться. Показанное нами правило тѣмъ болѣе примѣчательно, что оно есть общее во всѣхъ машинахъ. Никогда въ нихъ невозможно увеличить количество движенія, что доказываетъ невозможность сотворить силу. Если возмемъ за единицу, продолженіе движенія, производимаго точками B и C (фиг. 10), то скорости сихъ движеній изобразятся перейденными пространствами B*b* и C*c*. Равенство P×B*b*=P×C*c* выговаривается такъ: *когда рычагъ находится въ равновѣсіи, то сила, умноженная на ея скорость, равна сопротивленію, умноженному на его скорость.*

Положимъ что плечо AB рычага (фиг. 10) неперпендикулярно къ направленію BP силы, а наклонно къ оному. Повернемъ немного рычагъ на уголъ BAM=*b*A*m*. Пусть AB будетъ перпендикулярна къ продолженію BP; но поелику радіусы пропорціональны дугамъ, то

AB : A*b*=BM : *bm*.

Если изъ точки M, проведемъ MN перпендикулярно къ продолженной BP, то треугольники BMN

и AB*b*, будутъ подобны, по причинѣ перпендикулярности сторонъ ихъ. Посему

$$AB : Ab = BM : BN.$$

Откуда $BN = bm$. Итакъ, какова бы нибыла точка приложенія B, силы P на плечѣ AB, если нарушимъ равновѣсіе на самое короткое время и измѣримъ пространство, перейденное точкою приложенія, по направленію силы BM, то получимъ одну и туже скорость взятую по направленію сей силы. Слѣдовательно, *равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто, когда умножимъ силу на ея скорость, такимъ образомъ измѣренную, и сопротивленіе на его скорость также измѣренную, получимъ равныя произведенія, какова ни была точка приложенія силы и сопротивленія:* предполагая, что силы сіи стрѣмятся вращать рычагъ въ противныя стороны. Когда равнодѣйствующая двухъ силъ, находящихся на рычагѣ въ равновѣсіи, будетъ уничтожена точкою опоры, то равнодѣйствующая сія будетъ равна давленія, производимому рычагомъ на точку опоры.

Посему: 1. Если сила и сопротивленіе параллельны и направлены въ одну сторону, то давленіе рычага на точку опоры, равно суммѣ силы и сопротивленія. 2. Когда двѣ силы дѣйствуютъ въ противныя стороны, то давленіе рычага на точку опоры, равно разности сихъ двухъ силъ, направленной въ сторону большей силы.

Итакъ, въ рычагѣ перваго рода (фиг. 5), давленіе Z на точку опоры, равно суммѣ силы и сопротивленія. Въ рычагѣ втораго рода (фиг. 6), сіе давленіе равно сопротивленію безъ силы, и на-

Digitized by Google

правлено въ сторону сопротивленія. Въ рычагѣ третьяго рода (фиг. 7), давленіе равно силѣ безъ сопротивленія, и направлено въ сторону силы.

Когда силы BP и CR, [фиг. 14] непараллельны, то направленіе ихъ должно продолжить до встрѣчи въ точкѣ D; потомъ на прямыхъ BD и CD, построить параллелограммъ A*b* D*c*, силъ P и R. Тогда . . . . 1. діагональ пройдетъ чрезъ точку опоры A; 2. сія діагональ представитъ повеличинѣ и направленію, давленіе на точку опору, [*]. Положимъ, что имѣется какое нибудь количество силъ P, Q, R, S, T [фиг. 15], приложенныхъ къ рычагу CBADEF, то должно изъ точки A, къ направленію каждой силы провести перпендикуляры A*p*, A*q*, A*r*, ... Потомъ взять: 1. сумму произведеній всѣхъ силъ, стрѣмящихся вращать рычагъ въ одну сторону, на свое плечо рычага; 2. сумму соотвѣтствующихъ произведеній для всѣхъ силъ, стрѣмящихся вращать рычагъ въ противную сторону: то въ случаѣ равновѣсія суммы

(*) Построимъ параллелограмъ A*b* D*c*, проведя A*b* параллельно CR и A*c* параллельно BP. Поелику прямыя AB и AC перпендикуляры къ прямымъ BP и CR, то трехугольники AB*b* и AC*c*, будутъ прямоугольные. Сверьхъ того, уголъ *b* перваго и уголъ *c* втораго, порознь равны углу BDC, слѣдовательно суть равны между собою; посему трехугольники AB*b* и AC*c* подобны. Итакъ:

AC : AB = A*c* : A*b*; но A*c* = D*b*, A*b* = D*c*, а параллелограмъ силъ даетъ: P : R = D*b* : D*c*

то P : R = A*c* : A*b* = AC : AB

и P × AB = R × AC.

Слѣдовательно точка A, взятая въ точкѣ, гдѣ діагональ параллелограмма силъ встрѣчаетъ рычагъ BAC, есть точно точка опоры.

Digitized by Google

сіи должны быть равны между собою. Посему, условіе равновѣсія дается равенствомъ:

$$P \times Ap + Q \times Aq \ldots = R \times Ar + As \ldots$$

Изложивъ во всемъ пространствѣ теорію рычага, возвратимся къ главнымъ частнымъ случаямъ и къ его приложеніямъ.

Рычагъ перваго рода. Простѣйшій и правильнѣйшій изъ рычаговъ есть тотъ, котораго оба плеча равны между собою, котораго равновѣсіе требуетъ чтобъ сила и сопротивленія его были также равны между собою. Вѣсы есть машина сего рода.

Вѣсы (фиг. 16), состоятъ изъ рычага о равныхъ плечахъ AB и AC, называемаго *коромысломъ*. Точка опоры A, поддерживается родомъ дужки *lmn*, имѣющей горизонтальную ось *lAn*, около которой коромысло вѣсовъ можетъ обращаться. При каждой оконечности коромысла привязываются снурки или цѣпочки, къ коимъ привѣшиваются круглыя чашечки какъ въ фиг. 16, или квадратныя пластинки какъ въ фиг. 17. Пластинки или чашечки, должны быть равныхъ вѣсовъ. Онѣ вообще дѣлаются подобными, равныхъ размѣреній и привѣшиваются на равныхъ снуркахъ; онѣ имѣютъ ось симметріи, которая проходитъ чрезъ центръ тяжести ихъ; естественное положеніе равновѣсія ихъ есть то, когда сія ось будетъ вертикальна. Такъ что положивъ въ центрѣ симметріи пластинокъ или чашечекъ, извѣшиваемые предметы, сіи чашечки и пластинки сохраняютъ свое естественное положеніе, и предметы въ нихъ положен-

Digitized by Google

ные немогутъ выпасть при самомъ наибольшемъ наклоненіи ихъ отъ одной стороны на другую.

Въ одной изъ чашечекъ или пластинокъ кладутъ вѣсъ P, представляющій силу, а въ другую взвѣшиваемое тѣло R, представляющее сопротивленіе. Когда сіи двѣ силы равны и коромысло вѣсовъ горизонтально, то условіе равновѣсія будетъ

$$P \times AB = R \times AC.$$

Если AB не равно AC, и *гораздо меньше* его, то чтобы произведенія остались равными, сила P должна быть гораздо болѣе сопротивленія R. Итакъ, когда плеча коромысла неравны между собою, и если положимъ гирю на сторону меньшаго плеча, то она будетъ уравновѣшивать меньшій вѣсъ товара Основываясь на семъ правилѣ повѣряютъ вѣсы, перемѣняя взвѣшиваемый предметъ на мѣсто гирьки, а гирьку на его мѣсто; при вѣрныхъ вѣсахъ они въ обоихъ случаяхъ должны быть въ равновѣсіи, въ противномъ случаѣ вѣсы фальшивы.

Въ большой части художествъ и въ опытахъ, производимыхъ теперь съ большою тщательностію Химиками, Физиками и Геометрами, употребляютъ средство, независящее отъ большей или меньшей точности вѣсовъ. Кладутъ въ одну чашечку взвѣшиваемое тѣло R, а въ другую гирьки P, уравновѣшивающія сіе тѣло, которое потомъ вынимаютъ и замѣняютъ другими гирьками, прибавляя ихъ до тѣхъ поръ, пока онѣ небудутъ въ равновѣсіи съ вѣсомъ P. Очевидно, что новый вѣсъ долженъ представлять точный вѣсъ тѣла R.

Digitized by Google

Для совершеннаго испытанія вѣсовъ, должно принять въ соображеніе вѣсъ чашечекъ и коромысла. Коромысло должно быть въ равновѣсіи, до положенія въ чашечки какихъ либо тяжестей. Плеча коромысла должны быть равнаго вѣса, равной длины, и чтобы центры тяжести ихъ находились въ равныхъ разстояніяхъ отъ вертикальной линіи, проходящей чрезъ точку опоры или чрезъ ось коромысла.

Если AB и AC [фиг. 16], суть два плеча коромысла, то означая чрезъ G и H, центры тяжестей праваго и лѣваго плеча, должно чтобы вѣсъ X плеча AB, сосредоточенный въ G, былъ въ равновѣсіи съ вѣсомъ Y плеча AC, сосредоточеннымъ въ H. Слѣдовательно $X \times AG = Y \times AH$.

Если два центра G, H, и точка опоры A, находятся въ одной прямой линіи, то всегда произойдетъ равновѣсіе, какъ бы рычагъ ни наклонялъ. Посему коромысло неприметъ ни какаго особеннаго положенія, если его не обременятъ посторонными тяжестями. Посему, если малѣйшая разность вѣса увлекаетъ одно изъ плечь коромысла, то равновѣсіе рушится и коромысло сіе придетъ въ движеніе. Должно стараться чтобы центры G и H [фиг. 18], были немного ниже точки опоры A, но оба на одной высотѣ при горизонтальномъ положеніи плечь AB и AC. Тогда немного нарушивъ равновѣсіе, напримѣръ, наклоняя AB [фиг. 19] дабы поднять AC, прямая AH приближается къ горизонтальной, между тѣмъ какъ AG болѣе и болѣе удаляется отъ своего первоначальнаго положенія. Посему, проведя чрезъ центръ G и H двѣ вертикаль-

Digitized by Google

ныя XGg и YHh, потомъ горизонтальную gAh, необходимо получимъ что Ah болѣе Ag. Но въ семъ положеніи $X \times Ag$ есть моментъ для X; $Y \times Ah$ моментъ для $Y = X$; посему правый стороны моментъ превосходитъ лѣвый, слѣдовательно онъ будетъ стрѣмиться понизить плечо AC до тѣхъ поръ, пока рычагъ BAC приметъ горизонтальное положеніе. Поелику плечо AC опустилось съ нѣкоторою скоростію, по причинѣ приобрѣтаемаго движенія, то при возвращеніи его въ горизонтальное положеніе, движеніе сіе также продолжается; AC опускается ниже горизонтальной, между тѣмъ какъ AB поднимается выше горизонтальной. Посему, здѣсь происходитъ качательное движеніе, которое было бы вѣчнымъ, если бы можно было сдѣлать такіе вѣсы, гдѣ ни трѣніе, ни сопротивленіе воздуха не препятствуютъ оному. Но отъ дѣйствія сихъ сопротивленій, самые совершенныя вѣсы останавляются, сдѣлавъ большее или меньшее число качаній и покрайней мѣрѣ всегда довольно ограниченное.

Пусть O (фиг. 18 и 19), будетъ центръ тяжести коромысла вѣсовъ. Когда нарушимъ на весьма короткое время равновѣсіе коромысла, то вѣсъ $X+Y$, будетъ стрѣмиться привести O въ одну вертикальную съ силою $=(X+Y)$ умноженною на дугу MO, которую пробѣжитъ центръ O, отъ вертикальной AM: дуга сія пропорціональна разстоянію AO.

Дабы при устроеніи вѣсовъ знать ненаходится ли центръ тяжести коромысла весьма близко или далеко отъ точки A, то для сего должно счи-

Digitized by Google

нять въ продолженіе даннаго времени качанія сего коромысла. Если качанія сіи чрезвычайно медленны и трудно произвести ихъ, то центръ находится весьма близко къ точкѣ опоры; если же они весьма скоры, тогда должно напротивъ, центръ сей приблизить къ точкѣ опоры. Можно повысить или понизить центръ тяжести коромысла, чрезъ сниманіе или прибавленіе матеріи его нижной части.

Коромысло вѣсовъ есть сложный маятникъ, и изчисленія показанныя въ предыдущей главѣ дадутъ скорость продолженія качаній коромысла вѣсовъ, коль скоро опредѣлимъ моментъ несамодѣйственности вѣсовъ и положенія центра O.

Для узнанія точнаго положенія коромысла употребляютъ весьма простое средство. Прикрѣпляютъ къ коромыслу [фиг. 16 и 17] стрѣлку *Am*, перпендикулярно къ прямой линіи BAC. Дужка *lmn*, держимая за *m*, при подниманіи вѣсовъ принимаетъ вертикальное положеніе; но когда BAC будетъ горизонтальна, то стрѣлка, перпендикулярная къ BAC будетъ вертикальна. Посему, должно только замѣчать, несклоняется ли стрѣлка вправо или влѣво: 1. когда чашечки пусты; 2. когда въ одну изъ нихъ положимъ гирьки, а въ другую взвѣшиваемое тѣло.

Изъ вышесказаннаго явствуетъ, что и простѣйшіе инструменты не могутъ быть произведены съ надлежащею точностію, если не опредѣлимъ, какимъ законамъ Механики должны удовлетворять различныя части сихъ инструментовъ, дабы до-

Digitized by Google

стигнуть высочайшей степени тѣхъ выгодъ, которыя отъ нихъ должно ожидать.

Безмѣнъ, какъ и вѣсы есть рычагъ перваго рода, употребляемый для взвѣшенія тяжестей, помощію небольшой силы.

Вообразимъ прямой рычагъ BAC [фиг. 20], котораго малое плечо AC, принято за единицу мѣры, а большое AB, раздѣлено на нѣкоторое число разъ сей единицы. Если будемъ полагать привѣсъ P въ точкахъ дѣленія 1, 2, 3, 4, ..., то онъ будетъ уравновѣшивать тяжесть R, равную 1, 2, 3, 4, ... разъ взятому вѣсу привѣса.

Подраздѣливъ, напримѣръ надесять, каждую часть рычага AB, раздѣленнаго уже на части равныя плечу AC, каждая изъ сихъ частей представитъ въ произведеніи $AB \times P$, десятую часть $AC \times P$, а слѣдовательно, требуетъ для равновѣсія, увеличенія вѣса R, десятою частію P. Каждое подраздѣленіе, равное сотой части AC, также изобразитъ въ произведеніи $P \times AB = AC \times R$, сотую часть $P \times AC$.

Слѣдовательно, раздѣливъ съ точностію плечо рычага AB, на единицы, десятки, сотни, и проч., можно опредѣлить сколько разъ какой нибудь вѣсъ R, содержитъ нетолько вѣсъ P, но и дѣсятыя, сотыя, и проч., части сего вѣса, принятаго за единицу.

Часть примѣчаній, представленныхъ о качаніи вѣсовъ, прилагаются къ качаніямъ безмѣна. Равнымъ образомъ должно быть: 1. чтобы двѣ точки приложенія B и C, были совершенно въ прямой линіи съ точкою опоры A; 2. чтобы центръ тяжести безмѣна былъ не много ниже точки A, и на одной

Digitized by Google

вертикальной линіи съ сею точкою, когда AC горизонтальна.

Чтобы помощію безмѣна получить точнѣйшія взвѣшиванія, то можно съ большою выгодою прибѣгнуть къ двойному взвѣшиванію, то есть, приведя взвѣшиваемое тѣло въ равновѣсіе, замѣня точку, въ которой безмѣнъ былъ въ равновѣсіи, замѣнить тѣло сіе гирьками. Въ самомъ дѣлѣ, какъ бы инструментъ небылъ неточенъ, гирьки замѣняющія взвѣшиваемое тѣло, представятъ точный вѣсъ онаго, когда онѣ въ томъ же положеніи будутъ уравновѣшивать безмѣнъ. Во многихъ случаяхъ, вы узнаете сколь важенъ способъ сей при точныхъ дѣйствіяхъ для опытовъ, повѣрокъ, и проч.

Безмѣнъ принадлежитъ къ рычагу перваго рода, гдѣ малая сила, приводитъ въ равновѣсіе данное сопротивленіе. Рычаги сіи служатъ нетолько для произведенія равновѣсія, но часто употребляются для произведенія движеній.

Примѣчательнѣйшій примѣръ рычаговъ, представляютъ намъ рули судовъ вообще. Вообразимъ рычагъ CAB [фиг. 21] прикрѣпленный въ A, къ кормѣ судна, коего одно плечо AB погружено въ волу, а другое AC, удерживается ремнемъ или какимъ либо механическимъ приборомъ.

Когда судно въ ходу, и руль находится въ направленіи его хода, то руль сей не претерпѣваетъ со стороны воды никакого сопротивленія. Но когда AC придетъ напримѣръ въ положеніе *Ac*, то часть руля *Ab* будетъ претерпѣвать сопротивленіе X, увеличивающееся по мѣрѣ увеличенія угла B*Ab*.

Digitized by Google

Косвенная сила X, раздѣляется на двѣ другія: одна изъ нихъ y въ сторону Ab, которая тянетъ руль по длинѣ его, стараясь оторвать отъ петлей; другая x перпендикулярная къ Ab, толкаетъ руль въ сторону противную его ходу. По изложенному нами въ V главѣ, сила x поворачиваетъ судно дѣйствіемъ, котораго моментъ равенъ $x \times Gg$: предполагая, что Gg есть разстояніе центра тяжести G судна, до направленія силы x. Назвавъ чрезъ P, силу ремней, приложенную въ C, а чрезъ D, центръ приложенія силы x, получимъ для равновѣсія руля $P \times AC = x \times AD$.

Рычаги втораго рода. Въ сихъ рычагахъ, какъ мы уже сказали, сопротивленіе находится между силою и точкою опоры. Ихъ употребляютъ только въ такихъ случаяхъ, гдѣ сила должна быть менѣе сопротивленія.

Весла, служащія для движенія судовъ, суть рычаги втораго рода. Сила прикладывается къ ручкѣ N [фиг. 21] весла NOM, и тянетъ сію ручку отъ кормы къ носу судна. Точка опоры M находится на другомъ концѣ весла, а сопротивленіе производится самимъ судномъ, въ точкѣ O края сего судна, или помощію вырѣзки сдѣланной въ краѣ судна, или помощію вертикальнаго шипа называемаго уключиною. Очевидно, что опредѣливъ центръ сопротивленія части весла, погруженной въ воду, и разсматривая его какъ точку опоры, сила умноженная на разстояніе сего центра до ручки весла, будетъ равна сопротивленію умноженному на разстояніе сего центра до точки, гдѣ весло удерживается краемъ судна.

Digitized by Google

Дабы необременять гребцовъ излишнимъ трудомъ, заставляя перевѣшивать малое плело рычага, для приведенія его въ равновѣсіе съ длиннымъ плечомъ, то малому плечу придаютъ такой вѣсъ что рычагъ, поддерживаясь краемъ судна въ точкѣ O, почти находится въ равновѣсіи.

Поелику въ рычагахъ *третьяго рода*, сила находится между сопротивленіемъ и точкою опоры, то она необходимо должна быть болѣе сопротивленія. Сей родъ рычаговъ можетъ быть употребленъ только въ такихъ случаяхъ, гдѣ предполагаютъ силу превосходящую сопротивленіе.

Перо, кисть, карандашная трубка, представляютъ намъ примѣчательные примѣры сего рода рычага. Здѣсь нужно сообщать быстрыя движенія острею пера и карандаша, которыя отъ бумаги претерпѣваютъ весьма малое сопротивленіе.

Перо ABC [фиг. 22] имѣетъ свою точку опоры у перваго сустава указательнаго пальца. Сопротивленіе находится на бумагѣ въ C, на которой должно быть письмо, производимое дѣйствіемъ рычага. Сила раздѣляется въ *m*, *n* и *o*, между большимъ перстомъ и двумя первыми пальцами. Оборотивъ руку, чтобы посмотрѣть на перо съ его конца, увидимъ три точки приложенія *m*, *n* и *o*, тѣхъ трехъ пальцевъ, о которыхъ мы говорили. По мѣрѣ того какъ мускулы наши увеличиваютъ силу въ *m*, *n* и *o*, уменьшая ее въ другихъ двухъ точкахъ, перо движется по всѣмъ направленіямъ, соотвѣтствующимъ начертанію всѣхъ родовъ буквъ и фигуръ.

Digitized by Google

Письмо представляетъ примѣчательный примѣръ соединенія простыхъ машинъ. Два послѣднія пальца правой руки служатъ опорою перу; часть правой руки отъ кисти до локтя и лѣвая рука служатъ опорою цѣлаго тѣла, когда правая пишетъ. Каждая рука съ кистью составляется изъ двадцати четырехъ рычаговъ перваго рода, а каждая нога изъ двадцати трехъ рычаговъ.

Посему, особы, которыя пишутъ что должно изгнать изъ нашихъ художествъ сложныя машины, дабы возвратиться, какъ говорятъ они, къ простотѣ природы, употребляютъ искуственный рычагъ, движимый тремя силами, происходящими отъ системы девяноста рычаговъ, которые природа помѣстила въ нашихъ членахъ; сіи девяносто рычаговъ попеременно приводятся въ движеніе помощію ста восьмидесяти групъ нитей, называемыхъ мускулами, изъ которыхъ однѣ привязаны по одну сторону, а другія по другую сторону каждой точко опоры. Хотя сія многосложность нитей и рычаговъ, не производитъ ни какого безпорядка, ни какой помѣхи въ дѣйствіяхъ производимыхъ человѣкомъ помощію его членовъ, но легко доказать, напротивъ, что мы обязаны сему удивительному соединенію, нашему искуству и нашей способности производить безчисленное множество нужныхъ дѣйствій, которыхъ немогутъ произвести животныя, хотя строеніе ихъ проще нашего, представляетъ менѣе нитей и рычаговъ.

Художества, подражая природѣ, употребляютъ различныя соедьненія рычаговъ и нитей. Крылья телеграфовъ суть рычаги, движимыя веревками,

Digitized by Google

подобно тому какъ наши руки движутся помощію мускуловъ.

Если потребно будетъ весьма малою силою привести въ равновѣсіе весьма большое сопротивленіе, то должно употребить отдѣльный рычагъ, помѣстивъ точку опоры сколь возможно ближе къ точкѣ приложенія сопротивленія, что во многихъ случаяхъ представитъ неопреодолимыя препятствія, и непозволитъ получить съ необходимою точностію желаемаго вывода. Неудобство сіе отвращаютъ употребленіемъ соединенія рычаговъ, какъ видно въ фиг. 24. Сила P прикладывается къ концу длиннаго плеча рычага BAC; другой рычагъ CDE имѣетъ оконечность своего большаго плеча L, приложенную къ оконечности C малаго плеча l предыдущаго рычага; третій рычагъ представляетъ подобное же разположеніе, и такъ далѣе. Пусть X, X′, X″, ... будутъ сопротивленія испытуемыя точками прикосновенія C, E, H, ... соприкосновенныхъ рычаговъ; L, L′, L″, ... длинныя плечи рычаговъ, а l, l', l'', ... малыя плечи, то для условія равновѣсія должно быть:

Въ первомъ рычагѣ, $P \times L = X \times l$,

— второмъ ———, $X \times L' = X' \times l'$,

— третьемъ ——, $X' \times L'' = X'' \times l''$;

Перемножимъ между собою: 1. всѣ первые члены сихъ равенствъ; 2. всѣ вторые члены. Отнимемъ отъ двухъ произведеній общія количества X, X′, X″, ...; здѣсь R есть послѣдняя изъ сихъ силъ или сопротивленіе, то для условія равновѣсія получимъ просто:

$$P \times L \times L' \times L'' \ldots = R \times l \times l' \times l'' \ldots$$

Digitized by Google

То есть, *сила, умноженная на всѣ длинныя плечи рычаговъ, равна сопротивленію, умноженному на всѣ малыя плечи.*

Положимъ напримѣръ, что для всѣхъ рычаговъ большое плечо есть десятикратное меньшаго; мы увидимъ, что бравъ постепенно 1, 2, 3, 4,... рычага, сопротивленіе равно будетъ силѣ умноженной на 10, 100, 1000, 10,000,.... Итакъ, достаточно четырехъ рычаговъ, когда ихъ точка опоры находится въ десять разъ ближе къ сопротивленію чѣмъ къ силѣ, чтобы провести въ равновѣсіе такое сопротивленіе, которое въ *десять тысячъ разъ* болѣе силы.

Сію систему рычаговъ употребили для доказательства удлиненія металлическихъ прутьевъ подверженныхъ дѣйствію теплоты. Сіе удлиненіе бываетъ столь мало, что простыми глазами его нельзя примѣтить; будучи же умножено на десять тысячь, четырью описанными теперь рычагами, если притомъ данное плечо послѣдняго рычага есть стрѣлка квадранта, сія стрѣлка быстро пойдетъ впередъ, и по дѣленію пробѣгаемой дуги можно будетъ судить о удлиненіи металлическаго прута. Способомъ симъ можно весьма точно опредѣлить отношенія удлиненія желѣза, стали и мѣди, которыми столь искусно воспользовались часовые мастера.

Смотри VII Главу, *о маятникахъ съ вознаградителями.*

Digitized by Google

Digitized by Google

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

О блокахъ.

Простой блокъ [фиг. 1] составляется: 1. изъ кружка, на ободѣ котораго для хожденія веревки сдѣланъ равномѣрной ширины желобокъ; 2. изъ оси, на которой вращается кружокъ; 3. изъ обоймицы. ABCD есть тѣло, имѣющее сквозное отверстіе MN, въ которомъ вертится кружокъ, а перпендикулярно къ оному проходитъ другое круглое, также сквозное TT, служащее для вкладыванія оси.

Въ неподвижныхъ блокахъ (фиг. 2) обоймица остается неподвижною и прикрѣпляется къ какому нибудь неподвижному препятствію X. Ось равнымъ образомъ остается неподвижною, или по крайнѣй мѣрѣ разстояніе оной до точки X неизмѣняется. Сила P дѣйствуетъ на одинъ изъ концевъ веревки PAMBQ, а сопротивленіе укрѣпляется на другомъ концѣ сей веревки. Когда сила дѣйствуетъ на сопротивленіе, то она тянетъ веревку, такъ что сія представляетъ двѣ прямолинейныя части AP и BQ, одна идетъ отъ блока къ силѣ, а другая отъ блока къ сопротивленію; сверхъ того она образуетъ часть правой линіи AMB, которая облегается по желобку шкива, и есть кратчайшая линія, которую можно провести между точками A и B, на поверхности желобка: свойство сей поверхности изъяснено въ Геометріи, Глава XV.

Digitized by Google

Когда двѣ силы P и Q, находятся въ вертикальной плоскости, то въ оной должна быть и кривая AMB; и двѣ силы P и Q, иначе немогутъ быть въ равновѣсіи относительно неподвижной точки X, какъ только въ томъ случаѣ, когда сія точка находится въ одной вертикальной плоскости съ силою и сопротивленіемъ.

Неподвижный блокъ, употребляемый для подниманія ведра изъ колодца, и разныхъ матеріаловъ изъ рудниковъ и каменоломенъ, представляетъ намъ силу, сопротивленіе и точку опоры, находящимися въ одной вертикальной плоскости. Конецъ BQ веревки, къ которой прикрѣплено сопротивленіе также находится въ вертикальномъ положеніи: здѣсь сопротивленіе есть ничто иное какъ грузъ, свободно повѣшенный на веревкѣ BQ, и который требуется поднять.

Въ семъ же случаѣ, если направленіе AP, части веревки, въ которой приложена сила, небудетъ вертикально, то сія веревка принимаетъ фигуру кривой линіи, названной нами цѣпною, которой свойства изложены въ VI главѣ.

Во всѣхъ случаяхъ, когда веревка свободно обгибается около желобка блока, условія равновѣсія сей веревки будутъ условія, данныя въ IV главѣ, для равновѣсія веревки обгибаемой по поверхности и натягиваемой силами за два ея конца. Итакъ, напряженіе веревки во всѣхъ ея точкахъ A, M, B, приложенныхъ къ обводу блока, должно быть одинаково; посему, если сила приложена непосредственно къ концу A, а сопротивленіе непосредственно къ концу B, то сіи двѣ силы должны быть

Digitized by Google

равны между собою, каково бы не было направленіе оныхъ.

Если силы приложены не непосредственно къ точкамъ A и B, но въ нѣкоторыхъ отъ оныхъ разстояніяхъ, и если непринимать въ разсужденіе вѣсъ веревки, то и тогда силы сіи должны быть въ равновѣсіи. Если же примемъ въ разсужденіе вѣсъ веревки, то прибавивъ вѣсъ сей къ силѣ и къ сопротивленію, суммы сіи должны быть равны, дабы существовало равновѣсіе около оси блока.

Сіи разсужденія особенно важны при подниманіи тяжестей на значительныя высоты. По мѣрѣ того какъ дѣйствуетъ сила, она низходитъ вмѣстѣ съ веревкою, которую она тянетъ; она приобрѣтаетъ часть вѣса веревки, совершенно равную той, которая отнимается со стороны сопротивленія. Слѣдовательно, сила содѣлываясь болѣе и болѣе перевѣшивающею сопротивленіе, сообщитъ ему восходящее движеніе, которое дѣлается болѣе и болѣе значительнымъ, и можетъ кончиться весьма опаснымъ слѣдствіемъ.

Дабы между силою и сопротивленіемъ всегда существовала одна и таже разность, употребляютъ *вознаградительную цѣпь* QNO, прикрѣпленную подъ тяжестію Q, которую требуется поднять вертикально. Положимъ, что при той же длинѣ, цѣпь сія будетъ вдвое болѣе вѣсить чѣмъ веревка, къ которой привязаны сила и сопротивленіе. Когда сила P тянетъ веревку, такъ что приводитъ ее въ P′, то часть AB увеличится на количество PP′, а часть BQ уменьшится на равное количество QQ′. Слѣдовательно, сопротивленіе

Digitized by Google

какъ будто ничего не теряетъ, а сила P приобрѣтаетъ удвоенный вѣсъ части веревки PP′. Когда сопротивленіе Q поднимется на QQ′=PP′, то вознаградительная цѣпь, лежащая на горизонтальномъ помостѣ, поднимается, дѣлается вертикальною, и будетъ тянуть сопротивленіе. Но длина NN′ равная PP′ и QQ′, вѣситъ вдвое болѣе чѣмъ каждая изъ сихъ частей веревки. Посему, съ одной стороны, сила P приобрѣтаетъ дважды взятый вѣсъ PP′; а съ другой, сопротивленіе Q приобрѣтаетъ тотъ же удвоенный вѣсъ PP′. Слѣдовательно, между силою и сопротивленіемъ всегда будетъ одна и таже разность: результатъ, для многихъ случаевъ весьма важный.

Когда веревки AP и BQ [фиг. 2], параллельны, то равнодѣйствующая двухъ равныхъ силъ P и Q, будетъ параллельна направленіямъ AP и BQ, и пройдетъ чрезъ ось кружка. Когда P и Q [фиг. 4], непараллельны, то равнодѣйствующая должна также проходить чрезъ ось C кружка и точку привѣса X. Но какъ силы остаются равными, то продолживъ направленіе оныхъ AP и BQ до встрѣчи ихъ въ точкѣ D, три точки C, X и D должны быть въ прямой линіи, которая должна дѣлать равные углы съ направленіями AP и BQ, силы и сопротивленія.

Для узнанія давленія производимаго силами P и Q на ось C кружка, опредѣляютъ равнодѣйствующую DH параллелограмма DEHF, котораго равныя стороны DE и DF представляютъ силу и сопротивленіе; діагональ DH будетъ равнодѣйст-

Digitized by Google

вующая двухъ силъ направленныхъ по DXC, то есть давленіе ощущаемое осью кружка.

Придавъ давленіе сіе къ вѣсу блока получимъ всё усиліе, которое выдерживаетъ точка опоры X.

Поелику въ неподвижномъ блокѣ сила всегда равна сопротивленію, то сію машину не возможно употреблять для перенесенія силы съ одного направленія на другое, неизмѣня ничего въ величинѣ сей силы. Подвижные блоки, употребляемые для сей цѣли, принимаютъ весьма приличное наименованіе *переносныхъ блоковъ*; изъясняя тѣмъ, что они неимѣютъ другой цѣли, какъ *переносить* силу изъ одного направленія въ другое.

Еслибы силы P и Q были не равны между собою, то меньшая изъ нихъ уничтожитъ часть большей силы равную сей меньшей; тогда кружокъ блока будетъ двигаться въ сторону большой силы, какъ будто онъ былъ побуждаемъ разностію двухъ силъ; но давленіе производимое кружкомъ или его осью на обоймицу будетъ равно равнодѣйствующей двухъ силъ, предполагаемыхъ не такъ большими. Итакъ движеніе блока можетъ сдѣлаться весьма медленнымъ, хотя давленіе на ось дѣлаются весьма значительнымъ; для сего должно чтобы сила и сопротивленіе были весьма большими, и весьма мало между собою различествовали. Таково есть основаніе машины изобрѣтенной Атвудомъ, для опытнаго доказательства закона паденія тѣлъ: законъ сей изложенъ нами во II главѣ.

Проведемъ радіусы CA и CB [фиг. 4], перпендикулярно къ направленіямъ AP и BQ; то прямая AB будетъ перпендикулярна съ CHD, и раздѣлитъ

Digitized by Google

уголъ ACB на двѣ равныя части. Посему въ трехугольникахъ DEH и ACB, соотвѣтствующія стороны будутъ между собою перпендикулярны, отъ чего произойдетъ пропорція: P (=Q): R=DE (=DF): DH=AC (=CD): AB

Итакъ, *въ неподвижномъ блокѣ, сила равная сопротивленію, относится къ давленію* R, *выдерживаемому точкою опоры, какъ радіусъ кружка къ хордѣ* AB *стягиваемой дугу* AB *обнимаемую частію веревки согнутой на кружкѣ.*

Подвижной блокъ. Если въ неподвижномъ блокѣ [фиг. 2 и 4) замѣнимъ постоянную точку силою R, равною усилію, производимому на сію точку силами P и Q, то равновѣсіе будетъ существовать между тремя силами P, Q и R, и тогда неподвижной блокъ перемѣнится въ подвижной (фиг. 3 и 5). Слѣдовательно, въ подвижномъ блокѣ, силы P и Q, приложенныя къ двумъ концамъ веревки проходящей чрезъ блокъ, и сила R, приложенная къ обоймицѣ, сохраняютъ отношенія:

P [=]: R=DE [=DF]: DH

P [=]: R=CA [=CB]: AB.

Одну изъ силъ P=Q, замѣняютъ обыкновенно постоянною точкою, какъ напримѣръ Q. Тогда сила P должна уравновѣшивать сопротивленіе R, и послѣдняя пропорція выговаривается такъ:

Въ подвижномъ блокѣ, сила относится къ сопротивленію какъ радіусъ кружка къ хордѣ стягивающей дугу AB, *обнимаемую частію веревки сгибаемой по кружку.*

Когда двѣ силы P и параллельны [фиг. 3], то сопротивленіе R должно быть въ томъ же напра-

Digitized by Google

вленіи, и сверьхъ того должно быть равно суммѣ P+Q. Это будетъ наибольшее дѣйствіе, которое помощію блока могутъ произвести сіи двѣ силы, дабы сообщить движеніе обоймицѣ.

Чѣмъ уголъ образованный направленіями AP и BQ [фиг. 5], становится тупѣе, тѣмъ діагональ DH дѣлается менѣе; тѣмъ сопротивленіе R должно быть менѣе, если сила P=Q будетъ опредѣлена; тѣмъ P должна быть болѣе, если R есть опредѣленное.

Мы сказали, что вмѣсто того чтобы употребить двѣ силы P и Q для приведенія въ равновѣсіе съ третіею силою R (фиг. 3 и 5), часто привязываютъ одну изъ веревокъ AP или BQ къ неподвижной точкѣ. Сія точка выдерживаетъ то усиліе, которое бы должна была выдержать сила Q.

Напримѣръ, въ случаѣ когда веревки параллельны (фиг. 3) силы P и Q равны между собою: то для равновѣсія силы R=P+Q=2P, должно употребить простую силу P. Тогда для произведенія равновѣсія, сбережемъ половину употребленія силы. Я говорю для произведенія равновѣсія; ибо, въ произведеніи движенія, нѣтъ никакой экономіи.

Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что въ данное время, точка Q остается постоянною, а точка P поднимается на количество P*p*; кружокъ блока переходитъ изъ AMB въ *amb*, и какъ веревка не перемѣняетъ длины своей, то должно чтобъ QBMAP= Q*bmap*. Вычтя изъ двухъ веревокъ равныя длины AMB, *amb*, и общія длины Q*b*, P*a*; получимъ

$$Pp = Aa + Bb = 2Cc.$$

Но C*c* есть количество, на которое R приближается къ *c*. Посему, когда сила P есть только

Digitized by Google

половина R, то P должна пройти двойное пространство нежели R. Итакъ, умноживъ каждую изъ сихъ силъ на пространство пробѣгаемое ею въ данное время, произведенія должны быть равны между собою,

Сила $P \times Pp =$ силѣ $R \times Rr$.

Малыя пространства Pp, Rr, представляютъ скорости силъ P, R, а показанное равенство заключаетъ случай закона скоростей. Законъ сей вы найдете во всѣхъ простыхъ и сложныхъ машинахъ. Во всякомъ случаѣ вы увидите что если помощію точекъ опоры, можно уравновѣсить большія силы дѣйствіемъ меньшихъ силъ, то коль скоро произойдетъ движеніе, вознагражденіе между силами и перейденными пространствами устанавливается такимъ образомъ, что количества движенія никогда неувеличиваются.

Неподвижные блоки часто соединяютъ съ подвижными, какъ видно въ фиг. 6. Такимъ образомъ вѣшаютъ реверберы, употребляемые для освѣщенія улицъ.

Веревка $PabP'ABQ$ проходитъ чрезъ неподвижный блокъ abc, потомъ чрезъ подвижный блокъ ABC, къ которому привязанъ грузъ R, и наконецъ утверждается къ неподвижной точкѣ Q.

Пусть P' будетъ напряженіе или усиліе веревки, натягиваемой силою P. Для равновѣсія неподвижнаго блока должно чтобъ $P' = P$. Равновѣсіе же подвижнаго блока требуетъ, чтобы проведя хорду AB чрезъ точки A и B, гдѣ веревка не касается кружка, существовала пропорція: $P\ (= P') : R = AC : AB$. Условіе весьма простое.

Digitized by Google

Положимъ, что имѣются многіе подвижные блоки (фиг. 7), такимъ образомъ соединенные: 1. веревка QABPC′ перваго блока, привязана въ Q къ неподвижной точкѣ и къ центру C′ втораго блока; 2. веревка Q′A′B′P′C″ привязана въ Q′ къ неподвижной точкѣ и къ центру C″ третьяго блока; и такъ далѣе.

Назвавъ чрезъ P, P′, P″, ... напряженія веревокъ BP, B′P′, B″P″, ..., получимъ

$$\frac{R}{P}=\frac{AB}{AC},\ \frac{P}{P'}=\frac{A'B'}{A'C'},\ \frac{P'}{P''}=\frac{A''B''}{A''C''}\ldots\ldots$$

Откуда, $\frac{R}{P}\times\frac{P}{P'}\times\frac{P'}{P''}=\frac{AB\times A'B'\times A''B''\times\ldots}{AC\times A'C'\times A''C''\times\ldots}$

Замѣтимъ, что раздѣля R на P и частное умноживъ опять на P получимъ число R; что раздѣливъ его на P′, P″, ... и умноживъ опять на P′, P″ снова получимъ R. Слѣдовательно останется просто сопротивленіе R раздѣленное на послѣднюю силу P^m, равно произведенію всѣхъ отношеній

$$\frac{AB}{AC}\times\frac{A'B'}{A'C'}\times\frac{A''B''}{A''C''}\times\ldots\ldots$$

Всѣ сіи вычисленія, какъ видно чрезвычайно просты. Если бы положеніе блоковъ было дано, то и отношенія $\frac{AB}{AC}\times\frac{A'B'}{A'C'}\times\frac{A''B''}{A''C''}\times\ldots$ были также даны. Посему, можно опредѣлить какова должна быть сила, дабы уравновѣсить извѣстное сопротивленіе, и каково должно быть сопротивленіе чтобы привести въ равновѣсіе опредѣленную силу.

Когда всѣ силы [фиг. 8] параллельны, то хорды AB, A′B′, A″B″, ... содѣлаются діаметрами кружковъ ABC, A′B′C′, A″B″C″; слѣдовательно хор-

Digitized by Google

ды сіи будутъ тогда удвоенные радіусы AC, A′C′, A″C″, ... ; посему $\frac{R}{Pm} = 2 \times 2 \times 2 \ldots\ldots$, гдѣ число 2 будетъ столько разъ множителемъ сколько будетъ подвижныхъ блоковъ.

Если опредѣлимъ, въ случаѣ движенія, отношеніе перейденныхъ пространствъ въ силѣ и сопротивленіи, то увидимъ: 1. что пространство перейденное сопротивленіемъ R, въ половину менѣе пространства переходимаго силою P; сіе послѣднее есть половина пространства, которое проходитъ P′; а сіе опять въ половину менѣе пространства, которое проходитъ P″; итакъ далѣе. Посему, для отношенія пространствъ E и e, переходимыхъ силою Pm и сопротивленіемъ R, получимъ $\frac{E}{e} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \ldots\ldots$

столько разъ взятымъ, сколько находится

$$2 \times 2 \times 2 \times \ldots\ldots = \frac{R}{Pm}$$

въ отношеніи сопротивленія къ силѣ. Наконецъ, умноживъ между собою отношенія сіи получимъ $\frac{R \times E}{Pm \times e} = \frac{1}{2}$ раза $2 \times \frac{1}{2}$ раза $2 \times \frac{1}{2}$ раза $2 \times \ldots$, столько разъ, сколько находится подвижныхъ блоковъ.

Но $\frac{1}{2}$ раза $2 = 1$; то $\frac{R \times E}{Pm \times e} = 1$.

Что требуетъ, чтобъ сопротивленіе R, умноженное на переходимое имъ пространство E, было равно силѣ Pm, умноженной на переходимое ею въ тоже самое время пространство e, если вдругъ

Digitized by Google

нарушимъ равновѣсіе, дабы сообщить машинѣ движеніе.

Въ художествахъ часто употребляютъ систему блоковъ, соединенныхъ почти параллельными веревками, именно: неподвижные кружки 1, 2, 3,..... [фиг. 9 и 10], утвержденные въ одной неподвижной обоймицѣ, и подвижные кружки I, II, III, помѣщенные въ одной подвижной обоймицѣ. Таковыя соединенія блоковъ называются *полиспатами*.

Веревка переходитъ по очереди на 1 и I, 2 и II, 3 и III, и если веревки bB, Aa, $b'B'$, $A'a''$, $b''B''$, и проч. будутъ параллельны, то напряженіе каждой изъ оныхъ будетъ равно сопротивленію раздѣленному на число сихъ веревокъ, несчитая однако послѣдняго оборота веревки aP, которая дѣйствуя только на неподвижный блокъ ничего неизмѣняетъ въ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ P можно замѣнить равною P', направленною въ продолженіи Bb; тогда веревка aP уничтожится.

Слѣдовательно, должно считать тѣ только веревки, которыя идутъ непосредственно отъ подвижныхъ блоковъ, то есть, двѣ веревки на подвижной блокъ, [фиг. 9] когда веревка выходитъ отъ неподвижной обоймицы; и, одною веревкою болѣе когда веревка [фиг. 10] идетъ отъ подвижной обомицы. Вообще веревки сіи будутъ почти параллельны, почему въ практикѣ безъ большой погрѣшности за таковыя принять можно. Посему если подвижныхъ блоковъ есть m, то веревокъ въ первомъ случаѣ будетъ $2m$, а вовторомъ $2m+1$. Онѣ способствуютъ и выдержанію усилія равнодѣйствующей R, и каждая выдержитъ

Digitized by Google

$\frac{R}{2m}$ или $\frac{R}{2m+1}$ часть сего усилія. Но $P = P'$, напряженію Bb; посему сила P равна сопротивленію R, раздѣленному на удвоенное число подвижныхъ блоковъ [фиг. 9], или на удвоенное сіе число съ единицею (фиг. 10).

Легко доказать въ семъ случаѣ какъ и въ предидущихъ, что если приводимъ машину въ небольшое движеніе, то пространства перейденныя силою и сопротивленіемъ, въ продолженіе одного и того же времени, будутъ въ обратномъ отношеніи сихъ числъ.

Въ самомъ дѣлѣ, когда CR спустится на какое нибудь количество, то ясно, что каждое разстояніе Bb, $B'b'$, $B''b''$, ... ; Aa', $A'a''$, ... ; должно увеличиться на сію самую длину. Посему вся длина веревокъ отъ a до c''. . . , увеличится на сію длину столько разъ взятую сколько находится веревокъ. Итакъ веревка a P должна имѣть сію длину, а слѣдовательно сила P должна пройти всё сіе пространство. Итакъ, когда $2m$ [фиг. 9] есть число веревокъ, то пространство Rr, пройденное силою R будетъ относиться къ пространству Pp, перейденному силою $P = 1 : 2m$. Но $RR : P = 2m : 1$. Посему, сила R× пространство ею перейденное = силѣ P× пространство переходимое сею силою. Тоже самое можно доказать и относительно фиг. 10.

Сложные блоки, или какъ называютъ ихъ полиспаты, бываютъ двухъ родовъ. Въ одномъ изъ оныхъ [фиг. 9 и 10] каждый кружокъ блока находится на отдѣльной оси, а всѣ сіи оси обхваты-

Digitized by Google

ваются одною обоймицею. Въ другомъ (фиг. 11 и 12), всѣ кружки находятся на одной оси въ одной и той же обоймицѣ и раздѣлены неподвижными перегородками, составляющими часть обоймицы. Въ первомъ родѣ всѣ кружки каждаго полиспата, находятся въ одной плоскости, такъ какъ и веревка, которая постепенно переходитъ съ одного полиспата на другой.

Во второмъ родѣ, веревка для перехода съ одного полиспата на другой должна перемѣнить плоскость; такъ что всѣ части веревки находящіяся съ одной стороны двухъ полиспатовъ, хотя и параллельны между собою, но не параллельны частямъ веревки другой стороны двухъ полиспатовъ. Сія непараллельность имѣетъ ту невыгоду, что старается наклонять кружки въ положеніе наклонное относительно ихъ оси; отъ чего портится отверстіе въ сихъ кружкахъ, а отъ увеличенія трѣнія портятся также и оси. Сія невыгода будетъ весьма не чувствительна, если два полиспата находятся на значительномъ разстояніи относительно удаленія кружковъ между собою на оси; но помѣрѣ приближенія полиспатовъ невыгода сія увеличивается и производитъ неблагопріятныя дѣйствія. По сей то причинѣ кружки помѣщенные на одной оси не столь выгодны, нежели тѣ, которые находятся въ одной обоймицѣ на разныхъ осяхъ.

Но сія послѣдняя система занимаетъ болѣе мѣста чѣмъ предыдущая Если требуется, напримѣръ, поднять какую тяжесть, то должно употребить приборъ, гдѣ точка привѣса полиспатовъ гораздо

Digitized by Google

выше мѣста куда поднимается тяжесть, покрайней мѣрѣ на всю длину полиспатовъ; и сія длина можетъ быть значительна если каждая обоймица содержитъ три или четыре кружка. Неудобство сіе дѣлается тѣмъ больше въ послѣднихъ этажахъ, если требуется туда поднимать большія камни. Механикамъ предоставляется судить, смотря по обстоятельствамъ, которую изъ двухъ системъ они предпочесть должны.

Если полиспаты имѣютъ выгоду доставлять средство преодолѣвать большое сопротивленіе малою силою, за то, они требуютъ для вознагражденія значительной длины веревки; слѣдовательно сила, чтобы преодолѣть сопротивленіе гораздо меньшимъ количествомъ, должна пробѣжать большое пространство. Сіе общее вознагражденіе примѣчаемъ мы какъ законъ происходящій въ движеніи всѣхъ машинъ.

О тяжести въ блокахъ. Принимая блоки за тяжелыя тѣла можно получить величину усилія выдерживаемаго неподвижною точкою Q [фиг. 5], къ которой привѣшенъ блокъ. Для сего должно взять общую равнодѣйствующую силы P, сопротивленія R, вѣса веревки PABQ и всего блока.

Если вѣсъ блока будетъ m, а веревки n, то получимъ четыре силы, m, n, P и Q, которыхъ равнодѣйствующая для равновѣсія должна быть равна и прямо противоположна сопротивленію R.

Потомъ разсматривая происходящее около оси C блока, увидимъ что она выдерживаетъ: 1. усиліе P и Q; 2. вѣсъ кружка блока; 3. вѣсъ веревокъ PA и BQ, когда сила будетъ дѣйствовать съ верь-

Digitized by Google

ху въ низъ, какъ въ фиг. 4. Посему назвавъ чрезъ m' вѣсъ кружка, очевидно имѣющаго центръ въ С, должно чтобъ силы m', n, Р и Q, имѣли одну равнодѣйствующую проходящую чрезъ ось С. Сія равнодѣйствующая будетъ давленіе кружка на ось.

Очевидно что въ разсужденіе равновѣсія вѣсъ кружка нисколько не измѣнитъ отношеній Р и Q; но чѣмъ болѣе будетъ вѣсъ, тѣмъ болѣе будетъ обремѣняться ось, и тѣмъ болѣе причинитъ *трѣнія*. Посему вѣсъ кружка долженъ быть сколь возможно меньшій, чтобы блокъ производилъ сколь возможно большее дѣйствіе.

Что касается до веревки, въ томъ случаѣ [фиг. 4], когда вѣсъ ея поддерживается осью, то ось сія будетъ тѣмъ менѣе обремѣняться, чѣмъ веревка будетъ легче.

Сіи соображенія весьма важны при употребленіи веревокъ и блоковъ на корабляхъ; не для одной только экономіи въ матеріалѣ кружковъ блока и веревокъ, должно дѣлать сіи кружки и блоки тонѣе, но для того также, что тогда одно и тоже сопротивленіе можно преодолѣть гораздо меньшею силою. При металлическихъ кружкахъ, для доставленія имъ большей легкости, стараются сдѣлать ихъ пустыми между желобкомъ и осью, или помощію отдѣльныхъ спицъ какъ въ обыкновенныхъ колесахъ, или помощію весьма тонкой стѣнки, какъ видно въ фиг. 13.

Когда блокъ [фиг. 5] приведенъ въ движеніе, то первая часть силы Р уравновѣситъ всѣ сопротивленія. Вторая часть Р сообщаетъ веревкѣ, кружку и сопротивленію R, количество движенія, ко-

Digitized by Google

тораго дѣйствіе представитъ всё то что неуничтожено сопротивленіями машины.

Посему, сіе количество движенія измѣряется:

1. Пространствомъ, которое пробѣжитъ P′; 2. суммою произведеній вѣса веревки на пространство, пробѣгаемое веревкою по направленію ея длины; 3. суммою произведеній вѣса каждой частицы кружка на пространство сею частицією пробѣгаемое. Опредѣлимъ сію третью часть.

Если раздѣлимъ кружки на зоны равной ширины, то увидимъ что вѣсъ сихъ зонъ будетъ совершенно пропорціоналенъ ихъ радіусу. Вырѣзавъ два кружка равной толстоты и различныхъ діаметровъ, объемы ихъ будутъ пропорціональны квадратамъ сихъ діаметровъ. Если раздѣлимъ сіи два круга на малыя части, которыхъ объемы будутъ также въ семъ самомъ отношеніи и подобно помѣщены въ двухъ кружкахъ, тогда квадратъ разстоянія отъ оси до соотвѣтствующихъ частей, будетъ пропорціоналенъ квадрату радіусовъ сихъ кружковъ. Посему произведеніе объема каждой части на разстояніе до оси, будетъ пропорціонально квадрату діаметра умноженному на діаметръ, то есть, кубу діаметра кружковъ. Итакъ, для той же угловой скорости двухъ равной толщины кружковъ, количество движенія каждымъ изъ нихъ получаемое, пропорціонально кубу своего діаметра. Такъ какъ отношеніе сіе возрастаетъ съ діаметромъ кружковъ, то важно, особенно при большихъ блокахъ, чтобы дѣлать ихъ по возможности не такъ огромными. Выгоду сію получаютъ при употребленіи веревокъ, которыя при данной

Digitized by Google

силѣ, по причинѣ ихъ добраго качества имѣютъ небольшой діаметръ. Въ самомъ дѣлѣ, кружокъ долженъ имѣть ширину немного болѣе діаметра веревокъ, дабы онѣ не могли испортиться, касаясь стѣнокъ, въ которыхъ ходитъ кружокъ въ обоймицѣ блока.

Если бы можно было употреблять веревки не предлагающія таковаго сопротивленія сгибанію на жолобкѣ блока, то чѣмъ діаметръ кружка будетъ менѣе, тѣмъ менѣе была бы потѣрянная сила для преодолѣнія несомодѣйственности сего кружка, когда сила сообщаетъ движеніе сопротивленію; но жесткость веревокъ есть довольно значительное препятствіе, которое должно опредѣлить.

Знаменитый Физикъ Куломбъ опредѣлилъ то сопротивленіе, которое жесткость веревокъ противополагаетъ движенію блоковъ, слѣдующимъ способомъ.

Къ брусу AA′ (фиг. 14) прикрѣплялъ: 1. большую доску PP′ помощію испытуемой веревки CC′, которуя съ правой и лѣвой стороны обертывалъ петлею около подвижнаго цилиндра BB′; 2. малую доску *q*, небольшою веревкою *cc′*, дѣлающею отъ двухъ до трехъ оборотовъ около цилиндра BB′, въ сторону противную CC′. Дабы не помѣшать дѣйствію, тщательно старался чтобы веревки некасились другъ друга.

Цилиндръ BB′, побуждается къ низхожденію двоякимъ дѣйствіемъ: 1. своего собственнаго вѣса, плечомъ рычага равнымъ радіусу цилиндра; 2. вѣсомъ доски *q*, плечомъ рычага равнымъ діаметру цилиндра. Посему, чтобъ получить силу дѣйствующую на плечо рычага равное діаметру цилиндра,

Digitized by Google

можно къ вѣсу тяжести q прибавить половину вѣса цилиндра. Когда вѣсъ цилиндра весьма великъ, то дѣйствіе онаго уменьшаютъ противувѣсіемъ p, привязываемымъ къ концу веревки cc', проходящей чрезъ блокъ r. Каждая единица вѣса p уравновѣшиваетъ двѣ единицы вѣса цилиндра.

До начатія испытанія веревки CC', которой желалъ измѣрить жесткость, сначала ее *вытягивалъ*, дабы провести почти въ то состояніе, въ которомъ находятся веревки обыкновенно употребляемыя въ машинахъ. Веревку CC', пропускалъ онъ чрезъ желобокъ блока, привязавъ къ одному изъ концевъ ея достаточную тяжесть, за другой конецъ которой нѣсколько человѣкъ поднимали и опускали сію тяжесть. Такимъ дѣйствіемъ избѣгалъ онъ неправильностей, всегда усматриваемыхъ въ жесткости новыхъ веревокъ, и которыя непозволяли получать удовлетворительныхъ общихъ выводовъ.

Взявъ сіи предосторожности, видно каковъ долженъ быть вѣсъ q, дабы заставить опуститься цилиндръ BB', и слѣдовательно преодолѣть сопротивленіе веревки CC'. Найдено, что *при большихъ напряженіяхъ* (*), *сила необходимая для сги-*

(*) Сопротивленіе, раждающееся отъ жесткости веревокъ состоитъ изъ двухъ частей, изъ одной постоянной и изъ другой возрастающей пропорціонально тяжести. Постоянное количество можно приписать различнымъ степенямъ напряженія и крученія веревокъ при ихъ выдѣлкѣ. Каждая нитка веревочной пряди, находится въ оныхъ натянутою нѣкоторою силою; она сохраняетъ свою степень напряженія когда веревка и основана, поелику нитки веревочной пряди, однѣ съ другими соединенныя удерживаются трѣніемъ. Итакъ въ веревкѣ удерживающей какой либо вѣсъ, каждая нитка натягивается, нетолько отъ

Digitized by Google

банія веревки около цилиндровъ различныхъ діаметровъ, почти: 1. *въ прямомъ отношеніи напряженій веревокъ а въ обратномъ діаметровъ цилиндровъ;* 2 *въ прямомъ отношеніи квадрата діаметра веревокъ.* Сіе послѣднее отношеніе тѣмъ болѣе приближается къ точности чѣмъ веревки будутъ толще.

Сравнивая канаты съ тонкими веревками находятъ немного менѣе отношенія квадратовъ. Посему то въ толстыхъ веревкахъ помѣщаютъ въ центрѣ сердечникъ, увеличивающій діаметръ ихъ, не увеличивая въ томъ же отношеніи сопротивленія къ сгибанію. Сверьхъ того, въ толстыхъ канатахъ, невозможно чтобъ всѣ нити были столь равно вытянуты какъ въ тонкихъ веревкахъ; однѣ только болѣе вытянутыя болѣе сопротивляются, а другія безъ всякаго усилія уступаютъ сгибаніи веревки.

Весьма бы важно было опредѣлить, какое дѣйствіе производитъ на жесткость веревокъ, когда онѣ будутъ напитаны сыростію. Во многихъ работахъ, особенно въ тѣхъ, которыя производятъ

удерживаемаго ею вѣса, но и отъ степени крученія сохраненнаго ими по основаніи веревки; и такъ, если силы потребныя для сгибанія веревки пропорціональны напряженіямъ, то явствуетъ, что онѣ будутъ пропорціональны постоянному количеству купно съ вѣсомъ, которымъ обременена веревка. Сіе постоянное количество измѣняется по степенямъ напряженія и крученія, сообщеннымъ веревкамъ при ихъ выдѣлкѣ: при новыхъ веревкахъ о трехъ прядкахъ оно довольно точно соотвѣтствуетъ отношенію квадрата діаметровъ веревокъ. При веревкахъ уже давно употребляемыхъ, нитки пряди вытянуты, и постоянное количество представляющее ихъ первоначальное напряженіе уменьшается.

Digitized by Google

на открытомъ воздухѣ, какъ напримѣръ въ дѣйствіяхъ кораблей, дождь, буря и отъ множество другихъ причинъ смачивается снасти, и приводятся въ физическое состояніе, совершенно отличное отъ того, когда онѣ бываютъ сухи.

Простое наблюденіе доказываетъ, что жесткость веревокъ, особенно толстыхъ, чувствительно увеличивается, когда онѣ напитываются водою. Приборъ фигуры 14 доказываетъ, что сіе увеличиваніе измѣряется постояннымъ количествомъ, какіе бы тяжести необремѣняли веревки.

Первые опыты производилъ Куломбъ надъ *простыми веревками*; слѣдующія же надъ *смолеными веревками*. Для сего послѣдняго рода веревокъ, какъ и для перваго, каково бы небыло напряженіе ихъ, должно прибавить постоянное количество къ усиліямъ необходимымъ для сгибанія веревокъ, предполагаемыхъ несмолеными и сухими. Однако разность нетакъ велика какъ бы предполагать можно было: жесткость смоленыхъ веревокъ непревышаетъ 6 частію жесткость несмоленыхъ веревокъ.

Но таковая разность еще весьма ощутительна; она весьма извѣстна въ практикѣ. Почему вообще употребляютъ несмоленыя веревки, когда онѣ должны проходить чрезъ блоки и валы, даже и тогда, когда онѣ подвержены вліянію сыраго воздуха. Тогда находятъ, что экономія работы, которую онѣ производятъ въ движущихъ силахъ, гораздо болѣе вознаграждаетъ издержки, происходящія отъ скорой ихъ порчи.

Digitized by Google

Опытомъ дознано, что старыя смоленыя веревки сохраняютъ почти туже жесткость какъ и новыя смоленыя. Безъ сомнѣнія, что нити пеньки отъ употребленія содѣлываются менѣе натянутыми; но выставивъ ихъ на воздухъ и дождь, варъ оныхъ твердѣетъ, и вознаграждаетъ дѣйствіе.

Куломбъ предлагаетъ весьма простыя ариѳметическія правила, для приложенія достигнутыхъ имъ выводовъ, къ узнанію сопротивленія сгибанію различныхъ веревокъ, на цилиндрахъ или блокахъ данныхъ діаметровъ, при извѣстныхъ напряженіяхъ. Приложенія сіи можно найти въ сочиненіяхъ сего ученаго.

Опыты относительно смоленыхъ веревокъ производились зимою когда ртуть въ термометрѣ Реомюра поднималась отъ 5 или 6 градусовъ выше замерзанія. Казалось что морозъ увеличиваетъ жесткость смоленыхъ веревокъ особенно большихъ діаметровъ. Смоленая веревка изъ 15 нитокъ пряди, подверженная оному когда термометръ былъ 4-ю градусами ниже замерзанія, требовала силы болѣе [почти одною тестою] противу того когда термометръ былъ 6-ю градусами выше замерзанія. Но увеличиваніе сіе не слѣдуетъ отношенію тяжестей; оно также и здѣсь представляетъ постоянную часть сопротивленія, которое кажется чувствительно увеличилось.

Слѣдующее наблюденіе простирается на всѣ представленные нами опыты. Привѣсивъ къ веревкамъ тяжести и поднимая цилиндръ BB′ [фиг. 14] поворачивая его руками; потомъ вдругъ заставивъ его упасть, жесткость веревки часто бываетъ

Digitized by Google

на третъ менѣе нежели въ произведенныхъ уже опытахъ. Выводъ сей имѣлъ мѣсто какъ, при несмоленыхъ веревкахъ такъ и при смоленыхъ, какъ при новыхъ такъ и при старыхъ веревкахъ. Онъ только былъ ощутительнѣе при новыхъ и толстыхъ веревкахъ, нежели при старыхъ и тонкихъ; при тонкихъ цилиндрахъ; нежели при толстыхъ. Но если оставимъ систему на нѣкоторое время въ покое и поднявъ цилиндръ не спуская опять его, то найдемъ жесткость веревки чувствительно увеличивающеюся. Она достигаетъ того предѣла, который опредѣлилъ Куломбъ въ своихъ опытахъ, только послѣ 5 или 6 минутъ покоя. Итакъ, въ поперемѣнномъ движеніи, гдѣ силы употребляются для подниманія и опусканія какой либо тяжести, какъ напримѣръ въ дѣйствіи копровъ, употребляемыхъ для подниманія бабы служащей для вбиванія свай, жесткость веревки будетъ не много менѣе чѣмъ въ опытахъ. То же самое будетъ при веревкѣ проходящей чрезъ два одинъ къ другому весьма близкіе блока: ежели только движеніе будетъ быстро, то сила, которая нужна для преодоленія жесткости веревки, сгибая ее на второмъ блокѣ будетъ менѣе, хотя въ той же степени напряженій, чѣмъ сила потребная для сгибанія оной на первомъ блокѣ. Изъ сего наблюденія можно кажется заключать, что согнутыя части медленнѣе выпрямляются, и что болѣе или менѣе большая жесткость зависитъ отъ выпрямленія сихъ частей.

Впрочемъ наблюденіе сіе должно рѣдко имѣть вліяніе на изчисленіе въ машинахъ, опредѣленныхъ для

Digitized by Google

мореходства. Въ сихъ машинахъ, движенія довольно мѣдленны, и блоки почти всегда довольно далеко другъ отъ друга отстоятъ, что каждая часть веревки, проходя отъ одного блока къ другому, имѣетъ время принять снова всю свою жесткость. Притомъ, почти всегда необходимо при изчисленіи машинъ, вводить сопротивленія относительно самаго невыгоднаго случая движущихъ силъ.

Выводы, полученные приборомъ фигуры 14, подтверждаются приборомъ фигуры 15, въ которой какъ видно находятся двое козелъ TT, TT, поддерживающія двѣ доски DD, DD, и два бруска дубовые *mm*, *mm*, положенные ребромъ, которыхъ верьхъ горизонталенъ и совершенно гладокъ. Между сими двумя брусками находится продольное отверстіе. Кладутъ постепенно различные валы на два дубовые бруска, такъ что ось сихъ валовъ какъ видно на фиг. 15 находится перпендикулярно къ прямому направленію линеекъ коихъ ребра округлены. Двѣ линейки были совершенно горизонтальны: вѣшали съ двухъ сторонъ вала тяжести въ 61 фунтъ на гибкихъ бичевкахъ, имѣющихъ въ окружности 0, 075 дюйма, которыхъ жесткость не составляла тридцатой части жесткости веревки въ 6 нитей веревочной пряди. Помощію многихъ бичевокъ, разположенныхъ на валахъ и обремененныхъ съ каждой стороны 61 фунтомъ произвели на линейки опредѣленное давленіе. Небольшимъ противувѣсіемъ попеременно, вѣшаемымъ съ двухъ сторонъ вала, опредѣлена потомъ какова должна быть сила необходимая для доставленія сему валу нечувствительно непрерывнаго движенія, или

Digitized by Google

для преодоленія: 1 жесткости веревки CC'; 2 трѣнія цилиндра. Жесткость веревки всегда находится въ обратномъ отношеніи діаметра цилиндра.

Трѣніе цилиндра BB, *на горизонтальную плоскость, находится въ прямомъ отношеніи давленій и въ обратномъ діаметра. Итакъ, для цилиндровъ одного вѣса, чѣмъ больше будетъ діаметръ цилиндра тѣмъ меньше будетъ сопротивленіе трѣнія.*

Выводъ сей часто имѣетъ свое приложеніе. Въ земледѣльческихъ работахъ часто употребляютъ цилиндры, которые катаютъ по вспаханной землѣ, дабы размять комья земли, или, по лугамъ дабы помять траву, которая отъ сего дѣлается гораздо тонѣе и равнѣе. Здѣсь надлежитъ по возможности уменьшать сопротивленіе трѣнія, поелику тогда лошадь можетъ тащить безъ большаго труда болѣе длинный или болѣе тяжелый цилиндръ. Сіе самое дѣлаютъ въ Англіи, употребляя пустые чугунные цилиндры, которые въ одно время тверды, легки и большаго діаметра. Прибавимъ еще, что при равныхъ массахъ моментъ инерціи пустаго цилиндра будучи значительнѣе момента инерціи полнаго, то сила приобрѣтаемая цилиндромъ, уничтожается въ меньшемъ отношеніи препятствіями, которыхъ цилиндръ долженъ преодолѣть. Разсужденія сіи прилагаются къ употребленію колесъ во всѣхъ родахъ транспортовъ.

Испытавъ главные случаи равновѣсія блоковъ, употребляемыхъ отдѣльно, или соединенныхъ въ различныя системы, надлежитъ остановиться на

Digitized by Google

средствахъ отработки сихъ машинъ. Выдѣлка блоковъ есть важная отрасль промышленности, наипаче для мореходства. Она составляетъ *особенное* ремесло, а люди занимающіеся онымъ называются *блокарями* или *блочными мастерами*. Мы неговоримъ здѣсь о металлическихъ блокахъ, для выдѣлки которыхъ употребляютъ формы тщательно нарисованныя, произведенныя какъ точная работа столярнаго мастерства; потомъ вылитыхъ изъ чугуна и мѣди; наконецъ отдѣланныхъ совершенно.

Мы останимся на выдѣлкѣ деревянныхъ блоковъ.

Деревянные блоки можно сдѣлать, произведеніемъ колеса, помощію пилы и токарнаго стонка, а обоймицы рѣзными инструментами, подобными столярнымъ. Сію послѣднюю часть работы можно весьма выгодно произвести помощію машинъ. Обоймица блока имѣетъ четыре стороны, изъ коихъ каждыя двѣ параллельны двумъ плоскостямъ симметріи, одна изъ нихъ параллельна, а другая перпендикулярна къ плоскости колеса.

Вотъ остроумная система Брюнеля, Французскаго Механика, производитъ сіи четыре стороны частями круглаго цилиндра. На окружности большаго сквознаго колеса, прикрѣпляютъ куски дерева, предварительно обтесанные и представляющіе длину, ширину и толщину, соотвѣтствующую выдѣлываемымъ обоймицамъ блоковъ. Утвердивъ крѣпко на окружности колеса сіи куски дерева, сообщаетъ колесу единообразное движеніе; тогда, помощію рѣзца обрѣзывается выдающаяся сторона каждаго куска дерева. Такимъ образомъ вырѣ-

Digitized by Google

зываютъ каждую изъ сторонъ, по дугѣ прямаго круглаго цилиндра, имѣющаго своею осью самую ось колеса. Сдѣлавъ сіе поворачиваютъ каждый кусокъ на два прямыхъ угла, такъ что ихъ внѣшнія стороны содѣлаются внутренными относительно колеса, на которомъ они находятся. Приводятъ большое колесо въ движеніе и обрѣзываютъ всѣ стороны кусковъ содѣлавшихся внѣшними. Снявъ сіи куски и помѣстивъ ихъ на другомъ колесѣ приличнаго діаметра, обдѣлываютъ невыдѣланныя еще двѣ стороны каждой обоймицы блока, по двумъ дугамъ круглаго цилиндра, различныхъ радіусовъ, приличествующихъ формѣ обоймицы.

Въ сей системѣ Брюнеля, движущая сила производится паровою машиною; она можетъ быть также произведена конною машиною или водою, или людьми.

Другая существенная работа, есть отдѣлка сквознаго отверстія съ прямыми боками, въ которомъ должно помѣщаться колесо блока. Если производить работу сію обыкновеннымъ способомъ, помощію долота, то она содѣлается трудною и медленною. Гораздо проще начать помощію машины, просверливаніемъ у одного конца колеса сквозной цилиндрической дирки, по направленію отверстія, коей діаметръ равенъ ширинѣ сего отверстія; потомъ весьма тонкою пилою вставленною въ сію дирку выпиливать по правую и лѣвую сторонамъ оной, часть дерева, которая для образованія отверстія должна быть вырѣзана. Можно также употреблять долото, которому помощію непрерывной силы сообщаютъ движеніе взадъ и впередъ.

Digitized by Google

Способъ сей предпочиталъ ученый морской Инженеръ Губертъ.

Когда блоки должны выдерживать большое давленіе, то оси ихъ будутъ подвержены сильному тренію, отъ чего съ одной стороны оси сіи испортятся, а съ другой, дирка просверленная въ колесѣ блока для прохожденія оси, равнымъ образомъ увеличиватся и при томъ неравномѣрно, если сила матеріи колеса не вездѣ одинакова. Сіе неудобство бываетъ наиболѣе въ блокахъ, имѣющихъ колеса и оси деревянные, хотя бы для оси употребили весьма твердое дерево, какъ бигнонія, а для колесъ другое дерево равнымъ образомъ прочное, какъ напримѣръ бакаутъ.

Гораздо лучше для осей и колесъ употреблять вещества металлическія. Изъ чугуна льютъ колеса, примѣчательныя по ихъ легкости и непрерывности во всѣхъ частяхъ. Обыкновенно предпочитаютъ желѣзныя оси, и деревянныя колеса, въ центрѣ коихъ укрѣпляется мѣдное гнѣздо, представляющее круглое отверстіе, имѣющее діаметръ совершенно равный діаметру оси.

Искуство вырѣзывать въ колесахъ отверстія для вставливанія въ оныя мѣдныхъ гнѣздъ, есть весьма нѣжная работа, которая можетъ быть произведена болѣе совершеннѣйшимъ образомъ, правильными способами Механики, нежели ручною работою. Въ системѣ машины изобрѣтенной Брюнелемъ для выдѣлыванія блоковъ, усматриваемъ замысловатые способы для выдѣлки гнѣздъ и для вырѣзыванія въ колесахъ мѣстъ для помѣщенія оныхъ.

Digitized by Google

Гнѣзда въ блокахъ должны вкладываться въ вырѣзкахъ для нихъ назначенныхъ съ совершеннѣйшею точностію, потомъ тщательно болтами скрѣпляться: самая форма гнѣздъ не есть произвольна. Она должна различаться отъ единообразной формы круга, дабы представляла наивозможно большее сопротивленіе движенію въ кругѣ; ибо если гнѣздо будетъ также обращаться, то движеніе, которое оно приметъ, скоро уничтожитъ твердость совмѣщенія. Гнѣзда бываютъ квадратныя и трехугольныя. Гнѣзда Брюнеля имѣютъ форму цвѣтка трилистника и образуются по тремъ кругамъ, коихъ центры между собою равно отстоятъ.

Digitized by Google

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

О воротѣ и зубчатыхъ колесахъ.

Воротъ (фиг. 1) состоитъ изъ цилиндра ABCD и колеса EF, имѣющаго одну съ нимъ ось, и такъ къ нему прикрѣпленнаго, что отъ обращенія колеса обращается и цилиндръ. Цилиндръ сей съ обѣихъ концевъ оси M и N поддерживается неподвижными стойками, между которыми онъ вертится. Веревка однимъ концемъ утверждается и навивается на цилиндръ, а другой остается свободнымъ; къ сей веревкѣ привязываютъ сопротивленіе R; наконецъ сила P прилагается къ окружности колеса.

Въ сей машинѣ весьма легко опредѣлить отношеніе силы къ сопротивленію. Въ самомъ дѣлѣ, моментъ сопротивленія R, въ случаѣ обращенія колеса на своей оси, равенъ сему сопротивленію, умноженному на радіусъ цилиндра.

Дабы колесо вращалось, то моментъ силы P равенъ силѣ P, умноженной на радіусъ сего колеса.

Для равновѣсія должно быть: 1. чтобы сіи два момента дѣйствовали въ противныя стороны; 2. чтобы они были равны между собою.

Вотъ почему всегда стараются вертѣть колесо EF въ противную сторону къ направленію сопротивленія R, которое преодолѣть желаютъ.

Теперь положимъ, что требуется опредѣлить давленія, выдерживаемыя въ точкахъ M и N, двумя концами оси, называемыми *пятками ворота*.

Digitized by Google

Если сила P проходитъ чрезъ ось цилиндра, и поелику точки M и N находятся въ плоскости сей силы, то силу P можно непосредственно разложить на двѣ другія, ей параллельныя и проходящія относительно чрезъ точки M и N.

Такъ какъ сила P непроходитъ чрезъ ось колеса, то ее можно принять разложенною, подобно тому какъ мы сдѣлали въ V главѣ фиг. 16, для силы AX непроходящей чрезъ центръ тяжести тѣла, которое она должна привести въ движеніе.

Посему вмѣсто силы P можно принять: 1. силу P, равную и параллельную силѣ P и проходящую чрезъ центръ O колеса; 2. двѣ силы, равныя $\frac{1}{2}$ P и направленныя такъ, что обращаютъ колесо въ одну сторону, дѣйствуя на двѣ оконечности діаметра онаго. Поелику сіи двѣ силы дѣйствіемъ своимъ вращаютъ колесо только около его центра, не толкая сей центръ ни въ какую сторону, то ясно что онѣ также не будутъ толкать ни въ какую сторону точки опоры M и N.

Посему давленія P′ и P,″ производимыя на опоры M и N, происходятъ отъ силы P равной и параллельной силѣ P и дѣйствующей на центръ O колеса, въ прямой линіи съ сими опорами. Итакъ: $P = P' + P''$ и $P' \times OM = P'' \times ON$, или $P' \times MN = P \times OM$; $P'' \times MN = P \times ON$.

Равнымъ образомъ докажется, что сопротивленіе R производитъ на опоры M и N, два давленія R′ и R,″ таковыя, что:

$R = R' + R''$ и $R' \times IM = R'' \times IN$, или $R' \times MN = R \times IM$, $R'' \times MN = R \times IN$;

Digitized by Google

I есть точка гдѣ направленіе сопротивленія R проэктируется подъ прямымъ угломъ на ось цилиндра.

Изъ найденныхъ нами равенствъ непосредственно выводятся

$$P' = \frac{P \times OM}{MN}; \quad P'' = \frac{P \times ON}{MN}; \quad R' = \frac{R \times IM}{MN}; \quad R'' = \frac{R \times IN}{MN};$$

величины простыя и удобныя для вычисленія.

Такъ какъ двѣ силы P′ и R′, проходятъ чрезъ одну точку M, силы P″ и R,″ приходятъ также чрезъ одну точку N, то легко можно получить ихъ равнодѣйствующую, которая есть общее давленіе на опоры M и N, производимое силою и сопротивленіемъ.

Въ простѣйшемъ и наиболѣе общемъ случаѣ, сила P параллельна сопротивленію R. Тогда P′ и R′, P″ и R″, суть также параллельны.

Равнодѣйствующая силъ P′ и R′ есть $P' + R'$; равнодѣйствующая силъ P″ и R″ есть $P'' + R''$. Случай сей бываетъ тогда, когда опоры претерпѣваютъ наивозможно большее давленіе, при данной величинѣ силы и сопротивленія.

Когда сила и сопротивленіе не параллельны, тогда P′ и R′, P″ и P″ также небудутъ параллельны; тогда для равнодѣйствующей силъ P′ и R′ получимъ MX′, а для силъ P″ и R″ равнодѣйствующую NX″, помощію параллелограмма силъ изображенныхъ сторонами MP′, MR′; NP″, NR″.

Поелику сила всегда находится въ плоскости колеса, то давленіе производимое ею на опоры неизмѣняется. Но когда сопротивленіе приложится къ концу веревки, постепенно навивающейся или

Digitized by Google

развивающейся, образуя спираль на цилиндрѣ ворота, то сопротивленіе сіе будетъ переноситься то къ одной, то къ другой опорѣ, отъ чего по показаннымъ нами отношеніямъ, давленіе на первую опору увеличится, уменьшая его на второй. Итакъ, когда сопротивленіе весьма близко къ опорѣ, то оно производитъ на сію опору давленіе почти равное всей его силѣ, между тѣмъ какъ давленіе на другую опору дѣлается почти нулемъ. Два давленія содѣлываются равнымъ, когда сопротивленіе будетъ въ одинаковомъ разстояніи отъ опоръ, и проч.

Посему очевидно, что воротъ должно дѣлать столь прочно, чтобы опоры его сопротивлялись сколь возможно большему давленію.

При воротѣ, какъ и при машинахъ, которыхъ дѣйствіе мы предъ симъ разсмотрѣли, сначала не примемъ въ разсужденіе тяжести машины.

Мы также не принимали въ разсужденіи діаметра веревки, предполагая его безконечно малымъ. Когда же онъ не будетъ таковымъ, то силу P и сопротивленіе R, должно разсматривать приложенными по направленію оси веревки; и слѣдовательно къ діаметру цилиндра и къ діаметру колеса, должно прибавлять радіусъ употребляемой веревки. Въ самомъ дѣлѣ, когда сила P [фиг. 2] дѣйствуетъ на веревку ABP, опредѣленной толщины, которую она тянетъ во всѣхъ частяхъ равномѣрно, то поелику сія веревка кругла, равнодѣйствующая всѣхъ усилій, производимыхъ въ каждой части, на каждую нить веревки, должна проходить чрезъ центръ оной. Посему вмѣсто силы P, разложенной

Digitized by Google

для дѣйствія на всѣ нити веревки, можно подставить силу соединенную на оси сей веревки. Тогда моментъ сей силы равенъ (CA+A*a*)×P, то есть, суммѣ радіусовъ колеса и веревки, помноженной на силу.

Теперь, если разсмотримъ дѣйствіе веревки натягиваемой съ одного конца сопротивленіемъ R, а съ другаго навиваемой на цилиндръ C, то увидимъ тѣми же разсужденіями, что дѣйствіе силы R на сей цилиндръ изобразится моментомъ [CI+I*i*]×R, то есть, суммою радіусовъ цилиндра и веревки, умноженною на сопротивленіе дѣйствующее на сію веревку.

Наконецъ, въ случаѣ равновѣсія ворота, имѣющаго радіусами: колеса CA, цилиндра CI, веревки A*a*, которую тянетъ сила P дѣйствующая на колесо, другой веревки I*i*, помощію которой сила R дѣйствуетъ на цилиндръ, условіе равновѣсія будетъ: *произведеніе силы на сумму радіусовъ колеса и веревки, которую тянетъ сія сила, равно произведенію сопротивленія, на сумму радіусовъ цилиндра и веревки, которую тянетъ сіе сопротивленіе.*

Когда сила или сопротивленіе должны пробѣгать довольно большое пространство, то недостаточно чтобы колесо имѣло одинъ рядъ оборотовъ веревки; оно имѣетъ ихъ иногда два и три. Очевидно, что при каждомъ новомъ рядѣ сила послѣдовательно удаляется отъ оси на одинакое разстояніе, равное діаметру веревки: отъ чего также увеличивается разстояніе центра до направленія силы. Посему должно производить таковую

Digitized by Google

поправку, при строгомъ опредѣленіи отношенія сопротивленія къ силѣ, въ изчисленіи равновѣсія простаго ворота или какой либо системы воротовъ.

Толщина веревокъ ничего неизмѣняя въ положеніи центра колеса относительно силы и въ положеніи точки на оси, гдѣ можно принять проэктированною равнодѣйствующую, дабы дѣйствовать на опоры, то давленіе производимое на опоры отъ толщины веревокъ ни сколько неизмѣняется.

Но когда воротъ долженъ быть приведенъ въ движеніе, то толщина веревокъ прибавляетъ частное свое сопротивленіе ко всѣмъ другимъ сопротивленіямъ, оно будетъ какъ мы выше видѣли въ прямомъ отношеніи простыхъ напряженій и квадрата діаметра веревокъ, и въ обратномъ отношеніи діаметра или радіуса какъ цилиндра такъ и колеса ворота. Изъ сего видно, сколь важно въ употребленіи ворота имѣть веревки, которыя при данномъ діаметрѣ имѣли бы наивозможно большую силу.

Замѣтимъ весьма примѣчательное дѣйствіе силы и сопротивленія на валъ ворота. Дѣйствіемъ силы P, цилиндръ, или, какъ говорятъ *валъ* ворота побуждается обращаться въ точкѣ O [фиг. I], по направленію *pp'* сей силы. Дѣйствіемъ сопротивленія R, валъ побуждается обращаться въ точкѣ I, по направленію *rr'* сего сопротивленія, противоположному направленію силы. Если валъ сдѣланъ изъ матеріи неизмѣняемой, то онъ будетъ болѣе или менѣе уступать симъ двумъ противъ-

Digitized by Google

нымъ дѣйствіямъ; *онъ свернется*, и сіе свертываніе будетъ пропорціонально моментамъ силы и сопротивленія.

Въ главѣ, въ которой особенно будемъ говорить о *винтѣ*, мы представимъ гораздо больше подробностей о дѣйствіи силы свертыванія и о спиральной фигурѣ, которую она старается придать прямолинейнымъ волокнамъ дерева, употребляемаго для валовъ въ машинахъ; изслѣдованіе сіе составляетъ чрезвычайно важный предметъ относительно твердости и долговременности построекъ.

Дѣйствіе тяжести въ воротѣ. Все что мы сказали о дѣйствіи тяжести въ блокахъ, легко можно приложить къ дѣйствію тяжести въ воротѣ и въ зубчатыхъ колесахъ.

Сначала должно считать въ числѣ потѣрянныхъ силъ тѣ силы, кои были употреблены для преодолѣнія несамодѣйственности цилиндра и колеса. Потомъ къ давленіямъ выдерживаемымъ каждою осью и каждою точкою опоры, должно прибавить вертикальное давленіе, производимое тяжестію колеса, цилиндра и веревокъ.

Что касается до веревки, навивающейся однимъ концемъ на цилиндръ ворота, а другимъ привязанной къ сопротивленію, то во время навиванія оной на цилиндръ, тяжесть ея постепенно перестаетъ, собственно говоря, дѣлать часть сопротивленія, и дѣлаетъ часть сопротивленія противополагаемаго цилиндромъ; что во многихъ случаяхъ стрѣмится къ уменьшенію общаго сопротивленія. Дабы сія величина оставалась всегда одинаковою, часто употребляютъ противувѣсіе, вѣшающееся на

Digitized by Google

концѣ веревки, противоположномъ тому, который тянетъ сопротивленіе. Тогда веревка состороны противувѣсія столько разовьется, сколько она со стороны сопротивленія навьется, и обратно; посему тоже количество веревки останется постоянно навитымъ на цилиндрѣ. Слѣдовательно, отношеніе силы къ сопротивленію остается всегда тѣмъ же, когда скорость движеній сдѣлана единообразною.

Давленіе производимое на оси и на точки опоры будетъ тѣмъ больше, чѣмъ цилиндры и колеса, составляющія разсматриваемыя нами машины, будутъ тяжелѣе. Слѣдовательно вѣсъ ихъ долженъ быть наивозможно меньшій, дабы повозможности уменьшить сопротивленія въ самой машинѣ. Говоря о трѣніи, мы постараемся подробнѣе изъяснить сіи слѣдствія.

Часто колесо ворота замѣняютъ простымъ плечомъ рычага, къ которому прикладываютъ силу. Когда сіе плечо рычага прямое, тогда называютъ его просто *шестомъ*. *Рукоятка* есть рычагъ, обыкновенно изогнутый и представляющій ручку, къ которой человѣкъ прикладываетъ руку какъ силу (фиг. 3).

Часто для приведенія въ движенія вала ворота, вмѣсто блочныхъ колесъ, употребляютъ колеса съ деревянными гвоздями и колеса на подобіе барабана. При колесахъ съ деревянными гвоздями [фиг. 5], люди всходятъ по симъ гвоздямъ насаженнымъ по обѣимъ сторонамъ обвода колеса. Если вѣсъ ихъ, помноженный на разстояніе центра колеса до вертикальной, проведенной чрезъ центръ

Digitized by Google

ихъ тяжести будетъ превосходить вѣсъ сопротивленія, умноженный на разстояніе отъ оси колеса и цилиндра до вертикальной проведенной чрезъ центръ тяжести сопротивленія, тогда произойдетъ движеніе.

Выгода сей машины состоитъ въ томъ, что люди восходящіе по гвоздямъ находятся въ возможно болѣе отличномъ положеніе отъ вертикальной прямой, проведенной чрезъ центръ тяжести колеса; слѣдовательно, дѣйствіе ихъ при данномъ колесѣ есть возможно большее.

Другія колеса широки, пусты и во внутренности своей имѣютъ дорожку по которой ходятъ работники, приводящія въ движеніе машину. Отношеніе силы къ сопротивленію измѣряютъ здѣсь также какъ и въ предыдущемъ случаѣ. Сей способъ прилагать силу людей будетъ понятнѣе послѣ XI главы, относящейся къ наклонной плоскости.

Въ Англіи весьма много употребляются таковыя колеса, въ которыхъ сила людей прилагается различно. Вообразимъ пустой цилиндръ большаго діаметра, на внутренной кривой поверхности котораго въ равныхъ между собою растояніяхъ прибиты планочки, такъ что человѣкъ держащійся руками за горизонтальный шестъ, можетъ весьма легко ходить по симъ различнымъ ступенямъ. Становятъ мужчинъ или женщинъ, назначенныхъ для движенія колеса, одного возлѣ другаго, которые держатся руками за одинъ горизонтальный шестъ; между тѣмъ какъ они ступаютъ въ ногу, для движенія цилиндра становятъ ноги свои попеременно на четныя и нечетныя

Digitized by Google

ступени. Сіе средство работы, придуманное для употребленія силы заключенныхъ, есть весьма сильное наказаніе. Если сопротивленіе приложено къ окружности вала колеса, тогда сопротивленіе относится къ силѣ, какъ разстояніе оси колеса къ вертикальной, проведенной чрезъ центръ тяжести работающихъ, относится къ радіусу вала колеса.

Брашпиль, есть машина [фиг. 4], состоящая изъ горизонтальнаго вала, подобнаго вороту и изъ шестовъ или рычаговъ, которые одними концами вставляются въ гнѣзда сдѣланныя при обоихъ концахъ на окружности вала, а за другой конецъ сихъ рычаговъ люди тянутъ руками. Здѣсь, сила относится къ сопротивленію, какъ радіусъ вала съ радіусомъ веревки, къ которой привязано сопротивленіе, относится къ разстоянію оси до точки гдѣ приложены руки работающихъ.

Брашпиль употребляется на бортахъ кораблей; его употребляютъ въ повозкахъ для перевозки тяжестей, называемыхъ *мѣдведками*. Въ сихъ мѣдведкахъ валъ помѣщается предъ колесами. Двѣ веревки навитыя на валъ и привязанныя съ одного конца къ задней оконечности тележки, кладутся сверхъ поклажи. Когда помощію рычаговъ заставить вертѣться валъ, то веревка навиваясь на оный, натянется и прижметъ поклажу, отъ чего она не можетъ свернуться и упасть отъ дѣйствія тряски возки.

Воротъ и брашпиль имѣютъ весьма большое употребленіе въ промышленности. Въ Англіи, фасадъ большихъ торговыхъ магазиновъ представляетъ

Digitized by Google

вертикальные ряды стеклянныхъ дверей; надъ перекладиною верхнихъ дверей утверждается неподвижный блокъ, или покрайнѣй мѣрѣ укрѣпленный къ подстрѣлинѣ, которую по произволу можно дѣлать выдающеюся или придвигать ее къ стѣнѣ. Когда хотятъ опускать или поднимать товары, то прикрѣпляютъ ихъ къ концу веревки, проходящей чрезъ неподвижный блокъ и навивающейся въ магазинѣ на валъ ворота. Валъ сей приводится въ движеніе или рукояткою, или колесомъ, и проч. (*)

Журавль [фиг. 6], есть приложеніе ворота, которымъ исполняется двоякая цѣль: поднимать или опускать тяжести, и класть сіи тяжести въ такое мѣсто, которое не находится на вертикальной, соотвѣтствующей первоначальному ихъ положенію. Устроиваютъ подстрѣлину, вращающуюся на вертикальномъ валѣ. При верьхнемъ концѣ сей подстрѣлины находится колесо неподвижнаго блока, а при нижнемъ валъ ворота, приводимаго въ движеніе однимъ изъ вышесказанныхъ способовъ.

Пусть требуется, напримѣръ, разгрузить корабль и товары составляющія его грузъ положить на пристани? Для сего наберегахъ пристаней, гдѣ пристаютъ корабли, устроиваютъ журавли; поворачиваютъ подстрѣлину оныхъ до точки, гдѣ колесо укрѣпленное въ верхней части подстрѣлины, находится отвѣсно надъ точкою вы-

(*) Желательно, чтобы и у насъ въ Россіи подобнымъ образомъ сколь возможно болѣе употребляли простыя машины, особенно воротъ.

Digitized by Google

гружаемаго корабля. Товары привязываютъ къ концу веревки проходящей чрезъ неподвижный блокъ и навивающейся на валъ ворота. Потомъ приводятъ въ дѣйствіе силу, потребную для движенія сего ворота, въ сторону необходимую для поднятія той тяжести. Когда тяжесть поднимется на достаточную высоту, останавливаютъ движеніе ворота, поворачиваютъ подстрѣлину на ея валѣ, пока тяжесть небудетъ находиться отвѣсно надъ пристанью. Тогда, заставляютъ силу уступить сопротивленію, и тяжесть отъ собственнаго своего вѣса опустится на пристань, или на тѣлежку подвинутую отвѣсно подъ тяжесть. Большая часть сихъ машинъ приводится въ движеніе силою людей; нѣкоторыя силою паровъ.

Совершенное устройство журавлей требуетъ весьма обширныхъ познаній Геометріи и Механики, дабы различнымъ частямъ составляющимъ сіи машины, сообщить формы и пропорціи наивыгоднѣйшія для точности и легкости движеній Подвижныя части журавля должны быть неминуемо столь легки, сколько позволяетъ необходимая для нихъ твердость: поелику сила инерціи сихъ частей, всегда весьма вѣская, требуетъ чистой потѣри, того усилія, которое весьма полѣзно сбѣречь. Изложенныя уже правила и тѣ, которыя въ послѣдствіи представимъ, найдутъ весьма полѣзныя приложенія въ устроеніи журавлей и особенно во всѣхъ машинахъ относящихся къ вороту.

Козлы есть также изъ числа тѣхъ машинъ, которыя относятся къ вороту. Въ самомъ дѣлѣ,

Digitized by Google

они составляются изъ горизонтальнаго вала, находящагося близь основанія трехугольника, составленнаго изъ горизонтальной поперечины и двухъ наклонныхъ стоекъ. Блокъ укрѣпляется въ вершинѣ гдѣ соединяются стойки. Наконецъ, описанный нами трехугольникъ, который ставится основаніемъ своимъ на землю, удерживается при вершинѣ третіею стойкою, наклоненною противоположно первымъ двумъ. Когда нужно поднять какую либо тяжесть, то козлы ставятъ такимъ образомъ, чтобы тяжесть находилась между тремя стойками машины. Веревка, проходящая чрезъ неподвижное колесо захватываетъ однимъ концемъ тяжесть, а другимъ навивается на валъ ворота приводимаго въ движеніе шестами или рычагами. Козлы наипаче употребляются въ Артиллеріи. Рисунокъ ихъ можно видѣть въ Геометріи въ IV главѣ фиг. 7.

Кабестанъ (фиг. 8), есть воротъ, котораго ось вертикальна; а шесты, употребляемые для приведенія его въ движеніе горизонтальны.

Для равновѣсія козелъ, брашпиля и кабестана, сила умноженная на длину плеча рычага, къ концу котораго она приложена, должна быть равна сопротивленію, умноженному на радіусъ цилиндра, съ радіусомъ веревки, къ которой оно привязано.

Если воротъ имѣетъ нѣсколько рычаговъ и нѣсколько силъ къ нимъ приложенныхъ, то каждую силу должно умножать на длину ея плеча рычага, потомъ взять сумму сихъ произведеній, которая должна быть равна моменту сопротивленія.

Digitized by Google

Дѣйствіе тяжести машины на точки опоры не одинаково для ворота и кабестана. Въ кабестанѣ валъ вертикаленъ; сила и сопротивленіе направлены горизонтально: дѣйствіе ихъ на точки опоры производитъ горизонтальное давленіе. Тяжесть вала и рычаговъ кабестана производитъ вертикальное давленіе, не только по круглому обводу вращенія вала, но еще на основаніе помѣщенное подъ валомъ и въ направленіи оси. Основаніе сіе дѣлается обыкновенно пустымъ, подобно шарообразной чашечкѣ. Въ кабестанѣ, какъ видно, горизонтальное давленіе, выдерживаемое двумя опорами, происходитъ только отъ дѣйствій силы и сопротивленія; вѣсъ машины здѣсь ничего непроизводитъ.

Кабестанъ часто употребляется въ гражданскихъ работахъ, дабы горизонтально тащить тяжести. Тяжести сіи катятся по деревяннымъ или желѣзнымъ цилиндрическимъ каткамъ, иногда на тѣлежкахъ, и даже на шарахъ, бѣгающихъ въ желобкахъ. Сей послѣдній способъ употребленъ былъ для перевозки огромнаго куска гранита, на которомъ стоитъ теперь монументъ незабвеннаго для Русскихъ Петра Великаго. Военныя искуства, особенно Артиллерія, также употребляютъ кабестанъ.

На бортахъ кораблей, особенно дѣлаютъ употребленіе кабестана, весьма важное для ручныхъ работъ. Большой кабестанъ кораблей [фиг. 7], представляетъ вертикальный валъ, проходящій чрезъ двѣ палубы и упирающійся въ гнѣздо, находящееся въ кубрикѣ. Валъ сей, въ одномъ изъ промежутковъ между деками имѣетъ нецилиндриче-

Digitized by Google

скую, а коническою форму, по обводу которой проходитъ нѣкоторое число оборотовъ веревки, служащей для тянутія сопротивленія. Здѣсь необходимо изъяснить дѣйствіе сей конической формы.

Мы сказали, что спиральныя линіи начерченныя на поверхности цилиндра, суть кратчайшія, которыя можно провести по сей поверхности отъ одной точки до другой. Слѣдовательно, силы приложенныя къ двумъ оконечностямъ веревки согнутой спирально около цилиндра, необходимо натянутъ веревку по направленію сей самой спирали. Въ семъ положеніи, двѣ силы долженствуя дѣйствовать касательно къ спирали, будутъ наклонны въ отношеніи реберъ цилиндра, или въ отношеніи оси. Но, по нашему опредѣленію ворота и кабестана, направленіе силы и сопротивленія перпендикулярно къ направленію реберъ и оси вала. Слѣдовательно, сопротивленіе приложенное къ свободному концу веревки согнутой спиралью по валу ворота или кабестана, уже не дѣйствуетъ по направленію сей самой спирали. Посему, дѣйствіе сей силы состоитъ въ приведеніи веревки въ безпорядокъ, дабы заставить ее оставить спиральное направленіе, по которому она слѣдуетъ. Дѣйствіе равнодѣйствующей сильно сжимаетъ часть веревки, уже согнутую спирально на обводѣ вала, такъ что если бы сія часть веревки была сжимаема, то спираль болѣе и болѣе съузивалось пока касательная къ сей спирали небыла бы въ направленіи равнодѣйствующей, которая сама будетъ разстроена.

Digitized by Google

Поелику помощію кабестана сопротивленіе должно пробѣгать весьма большое пространство, напримѣръ, равное длинѣ каната въ нѣсколько сотенъ аршинъ, то очевидно что если бы канатъ навивался на валъ кабестана непосредственно, то надлежало бы чтобъ онъ сдѣлалъ нѣкоторое число оборотовъ около самаго себя; отъ чего много увеличится діаметръ вала и тѣмъ уменьшится дѣйствительность силы.

Сему неудобству пособляютъ помощію безконечной веревки, называемой *кабаляръ*. На веревкѣ сей въ нѣкоторомъ одинъ отъ другаго разстояніи находятся узлы, служащіе точками реберъ для привязыванія каната, который тащить желаютъ, къ веревкѣ кабаляръ. Сія веревка дѣлаетъ пять или шесть оборотовъ спиралью на валѣ кабестана. По мѣрѣ того какъ кабестанъ вертится, кабаляръ навиваецца на валъ его своею нижнею частію и развивается верхнею. Если бы валъ былъ цилиндрическій, то движеніе сіе продолжалось бы такимъ образомъ, веревка кабаляръ скоро достигла бы нижней части вала, и тогда она вступила бы между валомъ и декомъ корабля или должна бы была навиваться въ противную сторону, дабы образовать второй рядъ веревки, приложеный къ первому. Но припомнимъ, что валъ кабестана имѣетъ коническую форму, внизу расширяющуюся. Говоря о наклонной плоскости мы увидимъ, что разложеніе силъ производитъ такое дѣйствіе, что чѣмъ напряженіе веревки кабаляръ отъ дѣйствія сопротивленія будетъ значительнѣе, тѣмъ болѣе будетъ давленіе сей

Digitized by Google

веревки дабы поднять часть кабаляра, уже согнутаго спаралью. Сіе давленіе содѣлывается достаточнымъ, дабы всѣ обороты спирали были поднимаемы и отталкиваемы къ верьху.

Сіе послѣднее дѣйствіе также производится, поелику вмѣсто того чтобы валъ кабестана былъ дѣйствительный конусъ, который неспособенъ къ сему подниманію веревки, онъ имѣетъ фигуру поверхности вращенія, подобную колоколу. Помѣрѣ того какъ веревка навивается на сію поверхность и низходитъ ниже, она находится на части конуса болѣе расширеннаго; и, какъ увидимъ, говоря о наклонныхъ плоскостяхъ, сія косвенность даетъ тѣмъ болѣе силы напряженію веревки, для поднятія всѣхъ оборотовъ спирали, образованныхъ на валѣ и перенесенія ихъ къ верхней части кабестана. Симъ замысловатымъ способомъ избѣгаютъ означеннаго выше неудобства.

Наконецъ, въ случаѣ гдѣ не взирая на форму вала, веревка кабаляръ навьется до низу онаго она встрѣтитъ выдающіяся колеса *r*, *r*, которыхъ оси находятся на окружности самаго основанія вала; сіи колеса имѣютъ наклоненную плоскость I, I, которая толкаетъ кабаляръ и принуждаетъ его возходить.

Теперь положимъ, что имѣется рядъ воротовъ или кабестановъ ABC, A′B′C′, A″B″C″, и проч. [фиг. 9 и 11] такъ разположенныхъ, что P есть сила дѣйствующая на веревку перваго ворота; веревка BA′ однимъ концемъ навивается на валъ перваго ворота, а другимъ на колесо втораго; что веревка B′A″ навивается на валъ втораго и колесо

Digitized by Google

третьяго, и такъ далѣе; наконецъ, пусть R, R′, R″,..... будутъ напряженія сихъ различныхъ веревокъ. Здѣсь R′ R′, R″,..... должно послѣдовательно принимать за силы втораго, третьяго, четвертаго,..... ворота.

Посему получимъ слѣдующія пропорціи, выражающія состояніе равновѣсія,

$$P : R = CB : CA ; \quad \frac{P}{R} = \frac{CB}{CA}$$

$$R : R' = C'B' : C'A' ; \quad \frac{R}{R'} = \frac{C'B'}{C'A'}$$

$$R' : R'' = C''B'' : C''A'' ; \quad \frac{R'}{R''} = \frac{C''B''}{C''A''}$$

Перемноживъ сіи уравненія между собою получимъ:

$$\frac{P.\ R.\ R'....}{R.\ R'.\ R''...} = \frac{CB.\ C'B'.\ C''B''....}{CA.\ C'A'.\ C''A''.....}$$

Сокративъ подобныя члены будетъ,

$$\frac{P}{R} = \frac{CB.\ C'B'.\ C''B''.....}{CA.\ C'A'.\ C''A''....}$$

Итакъ, *въ системѣ воротовъ или кабестоновъ, сила относится къ сопротивленію, какъ произведеніе радіусовъ всѣхъ валовъ, относится къ произведенію радіусовъ всѣхъ колесъ.*

Если пожелаютъ ввести сюда еще радіусъ веревокъ, то должно сказать, что равновѣсіе тогда будетъ существовать, когда произведеніе изъ силы на радіусы всѣхъ колесъ съ радіусами соотвѣтствующихъ имъ веревокъ, равно произведенію изъ сопротивленія на радіусы всѣхъ валовъ съ радіусами навитыхъ на нихъ веревокъ.

Digitized by Google

Часто для передачи вращательнаго движенія съ одной оси на другую, ей параллельную, употребляютъ слѣдующую систему. На каждой оси (фиг. 10) C, *c*, утверждаютъ по колесу CA, *ca*. Обвертываютъ ихъ безконечною веровкою A*ab*B, имѣющею небольшіе, одно къ другому весьма близкія ребра дабы зацѣпляться за впадины, сдѣланныя по обводу колеса, препятствующія скользить ей. Назвавъ чрезъ P силу приводящую въ движеніе большое колесо и дѣйствующую на конецъ плеча рычага CD, тогда CD×P будетъ моментъ силы. Если представимъ чрезъ T напряженіе веревокъ, то для колеса CAB, должно чтобъ

$$P \times CD = T \times CA. \text{ Откуда } T = P.\ \frac{CD}{CA}$$

Изобразимъ чрезъ R сопротивленіе, которое дѣйствуетъ на конецъ плеча *cd*, получимъ непосредственно для условія равновѣсія,

$$R \times cd = T \times ca; \text{ откуда } T = R.\ \frac{cd}{ca}$$

Но напряженіе T, производимое силою есть тоже что и напряженіе T производимое сопротивленіемъ.

$$\text{Слѣдовательно, } P.\ \frac{CD}{CA} = R.\frac{cd}{ca}.$$

Положивъ, что CD=*cd*, получимъ P. *ca*=R. CA; чрезвычайно простое условіе равновѣсія.

Положимъ, что при движеніи, плечо CD, гдѣ приложена сила P, употребляетъ время *t* для сдѣланія одного оборота, то посмотримъ сколько можетъ сдѣлать оборотовъ въ продолженіе сего самаго времени плечо *cd*, гдѣ приложено сопротивле-

Digitized by Google

ніе R. Во время оборота CD, колесо AB дѣлаетъ полный оборотъ; и каждая точка A, на безконечной веревкѣ, подвигается на длину равную окружности сего колеса. Но каждая точка малаго движется стольже скоро какъ и безконечная веревка; поелику предполагается что веревка не скользитъ по колесамъ. Посему, точка *a* во время *t*, перебѣгаетъ на колесѣ *abe*, длину равную окружности ABE. Сверхъ того, поелику длина окружностей пропорціональна длинѣ радіусовъ, то малая окружность *abe* будетъ содержима въ большей, столько разъ, сколько малый радіусъ содержится въ большемъ. Слѣдовательно, чтобы точка *a* пробѣжала на маломъ колесѣ пространство равное окружности большаго, то она должна сдѣлать столько оборотовъ, сколько разъ *ca* содержится въ CA.

Умноживъ сіе число на моментъ сопротивленія $= R \times cd$, получимъ $R \times cd. \frac{CA}{ca} \times$ окруж. EAB. Количество совершенно равное $P \times CD \times$ окруж. EAB; поелику $P \times \frac{CD}{CA} = R \times \frac{cd}{ca}$ даетъ $P \times CD = R \times cd. \frac{CA}{ca}$ и слѣдовательно $P \times CD \times$ окруж. $EAB = R \times cd \frac{CA}{ca} \times$ окруж. EAB.

Здѣсь снова находимъ равенство, долженствующее существовать между количествами движеній силы и сопротивленія въ непрерывныхъ движеніяхъ машинъ.

Описанная теперь машина весьма часто употребляется въ токарномъ искуствѣ; ее также упо-

Digitized by Google

требляетъ точильщикъ ножей и прядильщица, для колеса, которымъ образуется нить.

Въ колесѣ прядильщицы, сила P есть нога, дѣйствующая на конецъ рукоятки помощію педали, которую она прижимаетъ однажды на каждый оборотъ вращенія колеса.

Въ мастерскихъ, гдѣ должно производить большія усилія, вмѣсто безконечныхъ веревокъ часто употребляютъ широкіе ремни. Иногда вмѣсто веревокъ употребляютъ и цѣпи.

Иногда употребляютъ *зубчатыя цѣпи.* Звѣнья сихъ цѣпей соединены осями или болтами, выдающимися съ обѣихъ сторонъ. Сіи болты входятъ во впадины, сдѣланныя по краямъ колесъ, которыя посему не могутъ двигаться независимо отъ цѣпи.

Помощію зубчатыхъ колесъ (фиг. 12) можно во вся избѣжать веревокъ, ремней и цѣпей, и безъ промежутковъ передавать движеніе отъ одного колеса другому; въ самомъ дѣлѣ, сравнимъ два колеса ABE, *abe*, когда они приведены въ движеніе веревкою A*ab*B [фиг. 10], или когда они имѣютъ зубья, непосредственно зацѣпляющіяся (фиг. 12).

Въ томъ и другомъ случаѣ точки ABE, *abe* движутся съ одинаковою скоростію; но ABE (фиг. 12) обращается съ права на лѣво, когда *abe* съ лѣва на право; между тѣмъ отдѣльные колеса (фиг. 10), обращаются въ одну сторону.

Скорости точекъ A и *a* [фиг. 10], одинаковы; A сдѣлаетъ на ABE полный оборотъ когда *a* сдѣлаетъ на *abe* столько оборотовъ, сколько разъ радіусъ *ac* содержится въ радіусѣ AC.

Digitized by Google

Если безконечная веревка неслѣдуя направленію $AabB$ (фиг. 10), пойдетъ по $AbaB$, то отношенія между силою и сопротивленіемъ, въ случаѣ равновѣсія останутся тѣже. При движеніи же будетъ та разность: въ первомъ случаѣ, два колеса ABE, *abe* обращаются въ одну сторону, а во второмъ въ обратныя.

Таковыми соединеніями мы можемъ составить сложную систему, совершенно сходную съ системою воротовъ [фиг. 15]. Утвердивъ на одной оси, большія зубчатыя колеса и малыя, называемыя *шестернями* CA и *ca*, C'A' и *c'a'*, C''A'' и *c''a''*, ... найдемъ для равенства моментовъ силы P и сопротивленія R, назвавъ чрезъ R', R'' усилія въ различныхъ точекъ зацѣпанія,

$$P.\ CA = R.\ ca$$

$$R'.\ C'A' = R'.\ c'a'$$

$$R''.\ C''A'' = R''.\ c''a'' \ldots\ldots$$

$$P.\ R'.\ R'' \ldots\ CA.\ C'A'.\ C''A'' \ldots = R.\ R'.\ R'' \ldots\ca.\ c'a'.\ c''a'' \ldots\ldots,$$

уничтоживъ сокращающіеся члены, получимъ $P.\ CA.\ C'A'.\ C''A'' \ldots = R.\ ca.\ c'a'.\ c''a'' \ldots\ldots$ Посему, *сила относится къ сопротивленію, какъ произведеніе радіусовъ всѣхъ малыхъ колесъ относится къ произведенію радіусовъ всѣхъ большихъ колесъ.*

Если въ точкѣ зацѣпанія двухъ колесъ [фиг. 14] приложимъ силу M направленную въ сторону движенія CAE, и силу N направленную въ сторону сопротивленія испытуемаго вторымъ колесомъ *cae*, то очевидно, что для равновѣсія сіи двѣ силы должны быть равны между собою.

Digitized by Google

Пусть сила P дѣйствуетъ на AE, при концѣ рычага CD, и R дѣйствуетъ на *ae*, при концѣ рычага *cd*; то будетъ $P \times CD = M \times CO$

$$R \times cd = M \times cO$$

$$\text{посему } P \times \frac{CD}{CO} = R \times \frac{cd}{cO}$$

Изъ сего видно: 1. что при данныхъ CD и *cd*, чѣмъ *c*O будетъ меньше, тѣмъ будетъ больше... $\frac{P}{R} = \frac{cO}{CD} \times \frac{CA}{cO}$. 2. что при тѣхъ же CD и *cd*, P и R суть въ обратномъ отношеніи радіусовъ CA и *ca*, зубчатыхъ колесъ. Итакъ, когда первый будетъ удвоенный, утроенный, учетверенный втораго, то сопротивленіе R, уравновѣшиваемое силою P, будетъ равнымъ образомъ вдвое, втрое, въ четверо болѣе сей силы P.

Колеса повозокъ, также можно отнести къ зубчатымъ колесамъ.

Всѣ тѣла природы ограничены поверхностями, кои не имѣютъ совершенной гладкости, а такими которыя усѣяны неровностями, болѣе или менѣе многочисленными и болѣе или менѣе выдающимися. Даже тѣ тѣла, которыя по видимому гладки, будучи разсматриваемы въ микроскопъ кажутся намъ шероховатыми. Дѣйствіе сихъ шероховатостей опредѣляетъ движеніе колесъ повозки.

Въ самомъ дѣлѣ, если бы колесо было математически гладко, равно какъ и земля горизонтальна, то колесо, движимое горизонтальною силою будетъ касаться земли, непретерпѣвая никакого сопротивленія. Но тяжесть заставляя зацѣплять неровности или зубцы колеса за неровности или

Digitized by Google

зубцы земли, которая остается неподвижною, отъ чего колесо побуждается къ вращенію. При каждомъ мгновеніи, новое сопротивленіе заставляетъ колесо тѣрять часть своей скорости; и колесо сіе скоро остановится, если не возобновлятъ потѣрянную силу.

Въ Англіи, во многихъ мѣстахъ находятся желѣзныя зубчатыя дороги, по которымъ катятся коляски съ зубчатыми колесами. Сіи зубчатыя дороги и колеса есть ощутительное изображеніе того, что происходитъ между почти невидимыми неровностями поверхностей болѣе или менѣе гладкихъ, плоскихъ дорогъ и обыкновенныхъ колесъ.

Хотябы зубчатыя колеса были цилиндрическія или коническія, и слѣдовательно, хотя бы оси ихъ были параллельными или разходящимися, но отношеніе силы къ сопротивленію, всегда не менѣе отношенія разстояній точки гдѣ производится прикосновеніе зубцовъ касающимся валовъ, кои сообщаются съ силою и сопротивленіемъ.

Выдѣлка зубчатыхъ колесъ есть работа весьма нѣжная, требующая употребленія строгихъ геометрическихъ способовъ, кои относятся къ раздѣленію круга, Геометрія глава III, къ свойствамъ цилиндра, Глава VIII, и къ конусамъ, Глава IX.

При построеніи колесъ значительнаго діаметра, фигура зубцовъ ихъ содѣлываетъ важный предмета, который должно подчинить геометрическимъ способамъ. Принимаютъ условіе, что колеса вращаются такимъ образомъ, что точки двухъ каса-

Digitized by Google

ющихся зубцовъ, одни къ другимъ такъ касаются какъ колеса повозки касаются къ поверхности земли.

Вмѣсто малаго числа толстыхъ, острыхъ и короткихъ зубцевъ, какія прежде употребляли, гораздо лучше увеличить число ихъ и дѣлать менѣе толстыми, менѣе острыми и болѣе длинными, дабы доставить достаточную твердость. Тогда фигура зубцевъ содѣлается гораздо проще для начертанія. Профилямъ ихъ достаточно давать фигуру прямоугольника, коего исходящіе углы сдѣланы немного тупыми, посредствомъ легкаго закругленія сторонъ перпендикулярныхъ къ обводу колеса. Машина, въ ходѣ своемъ, стирая болѣе исходящія части, отъ употребленія сама собою исправляется. Такъ дѣлаетъ большая часть строителей машинъ и даже часовщики, для ихъ обыкновенныхъ зубчатыхъ колесъ; только въ сихъ обыкновенныхъ колесахъ закругленіе совершеннѣе.

Часовщики употребляютъ колеса, коихъ зубцы имѣютъ различныя другія фигуры. Есть такія, которые нарѣзаны по обводу цилиндра [фиг. 17]. Задерживающія колеса (фиг. 16), имѣютъ острые зубцы и всѣ наклоненныя къ задержкѣ или къ плечу рычага, препятствующаго колесу итти назадъ.

Часто употребляютъ слѣдующее соединеніе: одно изъ зубчатыхъ колесъ замѣняютъ зубчатымъ сквознымъ цилиндромъ, называемымъ *шестернею* [фиг. 15]. Она составляется изъ ряда палочекъ, коихъ оси равно между собою отстоятъ по круглому обводу. Двѣ дощечки вырѣзанныя кружками,

Digitized by Google

имѣютъ квадратныя гнѣзда, въ которыя вставляются концы сихъ палочекъ, сдѣланныхъ въ шипъ. Такъ какъ шестерня есть тоже зубчатое колесо, то отношеніе силы къ сопротивленію вычисляется по показаннымъ общимъ правиламъ.

Домкратъ (фиг. 18) есть машина, гдѣ ось зубчатаго колеса AB неподвижна, а прямая зубчатая полоса EF приводится въ движеніе колесомъ.

Въ простомъ домкратѣ рукоятка CBB′ заставляетъ двигаться зубчатое колесо A, которое задѣвая за зубцы полосы EF ее поднимаетъ или опускаетъ. Въ сей машинѣ для отношенія силы къ сопротивленію имѣется $\frac{P}{R} = \frac{CB'}{CA}$, гдѣ $\frac{CB'}{CA}$ есть отношеніе пространствъ, перейденныхъ въ тоже время силою и сопротивленіемъ.

Въ сложномъ домкратѣ [фиг. 19] рукоятка дѣйствуетъ на первую шестерню, которая зацѣпляетъ за зубчатое колесо. На оси сего колеса находится другая шестерня, зацѣпляющая зубчатую полосу.

Назвавъ чрезъ D, D′, радіусы рукоятки и колеса, а чрезъ d, d', радіусы двухъ шестерней, для условія равновѣсія въ семъ новомъ случаѣ получимъ $P \times D \times D' = R \times d \times d'$.

Итакъ, напримѣръ, если D въ трое больше d и D′ въ трое больше d', то вставивъ получимъ $3d \times 3d' \times P = d \times d' \times R$, или сокративъ $3 \times 3 \times P = 1 \times 1 \times R$ то есть $9\ P = R$.

Посему сила P можетъ уравновѣшивать силу, въ 9 разъ ея большую. Между тѣмъ какъ при тѣхъ же размѣреніяхъ, если бы зубчатая полоса была непосредственно приложена къ первой шестернѣ,

Digitized by Google

сила P могла бы уравновѣшивать силу, только въ 3 раза ея большую. За то, въ первомъ случаѣ сила P должна пробѣгать пространства въ 9 разъ болѣе чѣмъ сопротивленіе.

Digitized by Google

Digitized by Google

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ.

О равновѣсіи на твердыхъ плоскостяхъ и о наклонной плоскости.

Въ равновѣсіи рычага мы разсматривали неподвижную точку. Въ равновѣсіи колеса, блока, ворота, и проч., мы разсматривали прямую линію или ось постоянную. Теперь посмотримъ, каково можетъ быть равновѣсіе силъ, дѣйствующихъ на твердой плоскости. Положимъ, что плоскость сія совершенно гладка.

Чтобы сила PC [фиг. 1], толкая матеріальную точку C къ плоскости, непроизводила никакого движенія, то сія сила должна быть перпендикулярна къ плоскости.

Когда въ самомъ дѣлѣ сила перпендикулярна къ твердой плоскости, и такъ какъ все расположено симметрически и въ направленіи силы и въ фигурѣ плоскости, то точка сія не побуждается къ движенію ни въ какую сторону болѣе, чѣмъ въ противную. Слѣдовательно, она должна оставаться въ покоѣ.

Если сила PC (фиг. 2) будетъ наклонна, то ее можно разложить на двѣ; на одну, направленную по самой плоскости, и на другую CP перпендикулярную къ сей плоскости; но дѣйствіе сей послѣдней силы уничтожается самою плоскостію; посему остается только сила C, которая дѣйствуя въ сторону CA, не встрѣчаетъ никакого сопротивле-

Digitized by Google

нія. Слѣдовательно, тогда неможетъ быть равновѣсія.

Пусть будетъ нѣсколько силъ CP, CQ, CR,..... (фиг. 3), толкающихъ туже матеріальную точку C къ плоскости ACB. Силы сіи должно перенести одну къ концу другой, не перемѣняя ихъ направленія, потомъ заключить многоугольникъ силъ послѣднею прямою линіею: сія прямая линія представитъ равнодѣйствующую по величинѣ и направленію. Равновѣсіе будетъ только въ томъ случаѣ, когда равнодѣйствующая CR′ (фиг. 3) всѣхъ силъ, будетъ перпендикулярна къ твердой плоскости. Если равновѣсія небудетъ, то матеріальная точка C (фиг. 4), будетъ двигаться на твердой плоскости, какъ будто она побуждаема одною силою Cr, равною проэкціи равнодѣйствующей CR на твердой плоскости.

Теперь, вмѣсто одной матеріальной точки, разсмотримъ тѣло CEF [фиг. 5], толкаемое къ твердой плоскости силою P. Направленіе силы P должно проходить чрезъ точку C, если одна только сія точка есть общая между тѣломъ и плоскостію.

Положимъ, что сила P проходитъ чрезъ другую точку C′ твердой плоскости. Приложивъ сію силу къ точкѣ D тѣла, ближайшей къ твердой плоскости, по P′C′, ничто не будетъ препятствовать силѣ P толкать точку D до прикосновенія ея съ плоскостію, и увлекать такимъ образомъ тѣло: посему равновѣсія небудетъ.

Должно также чтобъ сила PC непереставала быть перпендикулярною къ твердой плоскости,

Digitized by Google

дабы неразлагать ее на двѣ другія: на первую, перпендикулярную къ плоскости и ею уничтожающуюся; на вторую, идущую по направленію самой плоскости, которой ничто не препятствуетъ.

Если многія силы дѣйствуютъ на тѣло, то равнодѣйствующая ихъ должна проходить чрезъ точку C, и дабы тѣло оставалось въ равновѣсіи, должна всегда быть перпендикулярна къ твердой плоскости.

Теперь положимъ, что тѣло касается твердой плоскости въ двухъ точкахъ A и B [фиг. 6]; здѣсь должно, чтобы равнодѣйствующая всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на тѣло, могла быть разложена на двѣ другія, проходящія чрезъ сіи двѣ точки.

Въ самомъ дѣлѣ, пусть вертикальная проэкція Rr [фиг. 6], будетъ изображать равнодѣйствующую всѣхъ силъ; а горизонтальная проэкція A_h B_h r_h, будетъ представлять положеніе постоянныхъ точекъ A, B и точки r, гдѣ равнодѣйствующая встрѣчаетъ твердую плоскость. Сначала можно провести чрезъ точки B_h и r_h прямую B_h r_h C_h, и разложить силу Rr или двѣ другія, параллельныя Rr: на одну P, приложенную въ B и на другую Q приложенную въ какой либо точкѣ C линіи BrC. Сила P, будучи перпендикулярна къ твердой плоскости и проходя чрезъ точку B, гдѣ тѣло касается плоскости, ничего неможетъ измѣнить въ равновѣсіи сей плоскости. Итакъ остается сила Q, которая необходимо заставитъ тѣло вращаться, если точка C небудетъ общею, какъ сему тѣлу, такъ и твердой плоскости: покрайней мѣрѣ, если точка C небудетъ находиться между

Digitized by Google

А и В. Въ самомъ дѣлѣ если точка С будетъ находиться за точкою А или В, то тѣло будетъ стремиться въ сію сторону опрокинуться.

Пусть тѣло будетъ упираться въ плоскость тремя точками А, В и С [фиг. 7]. Соединимъ точки А, В и С, прямыми линіями АВ, ВС и СА. Дабы тѣло, на которое дѣйствуетъ какая либо сила PG, оставалось въ равновѣсіи, то должно: 1. чтобы сила сія была перпендикулярна къ твердой плоскости; 2. чтобы точка встрѣчи ея съ плоскостію не была внѣ трехугольника АВС. Иначе, ничто не будетъ препятствовать тѣлу упасть.

Если вмѣсто трехъ точекъ опоры, тѣло положенное на плоскость будетъ имѣть ихъ какое нибудь другое число, то всѣ сіи точки должно соединить прямыми линіями, такъ чтобы вышелъ многоугольникъ совершенно сомкнутый и неимѣющій входящихъ угловъ. Тогда условія равновѣсія сего тѣла, толкаемаго какою нибудь силою, будутъ: 1. что сія сила будетъ перпендикулярна къ твердой плоскости; 2. что направленіе сей силы продолженное до плоскости, не встрѣтитъ ее внѣ сказанною многоугольника.

Сія различные случаи равновѣсія найдутъ важныя и многочисленныя приложенія, когда введемъ тяжесть тѣлъ въ сравненіе и изчисленіе частей машинъ.

Все что мы сказали о тѣлахъ, лѣжащихъ на плоскостяхъ, можно приложить къ тѣламъ, помѣщеннымъ на поверхностяхъ какой нибудь другой фигуры, составленныхъ изъ частей прямыхъ или кривыхъ. Должно только, чтобъ равнодѣйствую-

Digitized by Google

щая силъ, дѣйствующихъ на тѣло, могла быть разложена на силы, проходящія чрезъ точки опоры и перпендикулярныя къ твердой поверхности; кромѣ того должно, чтобъ равнодѣйствующая сія не проходила внѣ многоугольника, неимѣющаго входящихъ угловъ и составленнаго изъ прямыхъ, проведенныхъ отъ каждой точки опоры до другихъ точекъ опоры.

Въ художествахъ вы часто найдете приложенія сихъ правилъ. Для держанія пунсона въ равновѣсіи, при нажиманіи онаго рукою о какую либо поверхность, должно направлять его перпендикулярно къ сей поверхности, дабы онъ не скользилъ; должно, чтобъ сила нажимала пунсонъ по направленію его оси; иначе онъ упадетъ или будетъ скользить.

Когда тѣло нажимаемое на твердую плоскость, представляетъ ей болѣе трехъ точекъ, то должно прибѣгнуть къ соображеніямъ, зависящимъ отъ самой природы тѣла, дабы знать по какимъ законамъ производится разпредѣленіе давленій испытуемыхъ тѣломъ въ каждой точкѣ прикосновенія съ твердою плоскостію.

Есть весьма примѣчательный случай, въ которомъ непосредственно находятъ величину сего давленія; это есть случай, гдѣ точки прикосновенія на твердой плоскости образуютъ правильный многоугольникъ, а сила нажимающая тѣло къ твердой плоскости проходитъ чрезъ центръ сей фигуры. Предположивъ также, что тѣло будетъ симметрическое въ разсужденіи плоскостей, проходящихъ взаимно чрезъ оси симметріи многоугольника правильной фигуры, которая образовалась

Digitized by Google

помощію точекъ прикосновенія, то каждая изъ сихъ точекъ будетъ выдерживать равное давленіе. Слѣдовательно, давленіе выдерживаемое каждою частицею поверхности прикосновенія, равно силѣ, нажимающей тѣло къ твердой плоскости, раздѣленной на число сихъ точекъ.

Въ художествахъ употребляютъ довольно большое число тѣлъ, которыя кладутся на твердыя поверхности, точками, расположенными по правиламъ сказанной нами симметріи.

Человѣкъ, и всѣ ходящія животныя, подпираютъ вѣсъ своего тѣла симметрическими ногами, которыя имѣютъ плоскостью симметріи, плоскость симметріи самаго тѣла, Слѣдовательно, давленія производимыя на каждую ногу суть равны. Въ промышленности, употребляютъ три или четыре точки подпоры для большей части обыкновенныхъ предметовъ. По аналогіи [сходству], называютъ *ногами* тѣ части другихъ тѣлъ, которыя непосредственно касаются земли или пола, имъ часто даютъ фигуры ноги человѣка или животнаго.

Треножникъ, какъ показываетъ и самое названіе, есть тѣло поддерживаемое тремя ногами. Когда фигура удовлетворяетъ условіямъ сказанной симметріи, то давленіе каждой ноги на твердую плоскость, равно трети силы, нажимающей треногу на сію плоскость. Столы, комоды, кровати, множество мебелей, поддерживаются четырью ногами, удовлетворяющими условіямъ упомянутой выше симметріи. Слѣдовательно, каждая нога сихъ произведеній промышленности выдерживаетъ чет-

Digitized by Google

вертъ давленія, производимаго какою нибудь силою перпендикулярною къ твердой плоскости.

Есть предметы, касающіеся плоскости по непрерывнымъ правильнымъ линіямъ. Въ случаѣ, когда тѣло удовлетворяетъ условіямъ симметріи, всѣ точки сихъ линій выдерживаютъ равное давленіе; слѣдовательно, давленіе выдерживаемое каждою частицею сихъ линій, находится въ обратномъ отношеніи всей длины ихъ.

Въ художествахъ часто употребляютъ поверхности вращенія, ставящіяся на твердую плоскость MN (фиг. 8), которой онѣ касаются въ параллельномъ кругѣ ABC. Если сила, нажимающая поверхность вращенія къ сей плоскости, нажимаетъ ее по оси поверхности, то очевидно что всѣ точки круга прикосновенія выдерживаютъ одинаковое давленіе. Мы не разпространимся болѣе изъясненіемъ сихъ приложеній промышленности.

Разсмотримъ тѣло BCF [фиг. 9] покоющееся на двухъ плоскостяхъ (1) и (2), которое касается ихъ въ точкахъ B и C. Дабы тѣло сіе побуждаемое силою AP, было въ равновѣсіи, очевидно должно быть: 1. чтобы сія сила могла быть разложена на двѣ другія, направленныя по прямымъ PM и PN, проходящія чрезъ двѣ точки опоры B и C; 2. чтобы PM была перпендикулярна къ плоскости [1], а PN къ плоскости (2).

Когда сіи условія будутъ выполнены, то по причинѣ уничтоженія силы PM плоскостію (1), а силы PN плоскостію [2] произойдетъ равновѣсіе.

Digitized by Google

Во всѣхъ другихъ случаяхъ равновѣсіе не можетъ имѣть мѣста. Въ самомъ дѣлѣ, одно сопротивленіе, которое производитъ каждая плоскость направляется по перпендикуляру, проходящему чрезъ двѣ точки опоры тѣла о сію плоскость. Посему, должно чтобы два сопротивленія такимъ образомъ направленныя, были въ равновѣсіи съ силою. Но чтобы три силы были въ равновѣсіи, должно чтобы онѣ сходились въ одну точку. Итакъ, во всѣхъ случаяхъ тѣла, толкаемаго силою по двумъ плоскостямъ, которое въ каждой касается въ одной точкѣ, должно чтобы прямая, по которой дѣйствуетъ сія сила и перпендикуляры возставленные изъ каждой точки прикосновенія, проходили чрезъ одну точку. Тогда параллелограмъ, построенный на сихъ трехъ линіяхъ, взявъ на первой діагональ равную силѣ, получимъ давленія производимыя на каждую плоскость.

Въ случаѣ тѣла, касающагося трехъ плоскостей, каждая въ одной точкѣ, должно всегда чтобы сила была въ равновѣсіи съ силами, приложенными въ сихъ точкахъ, по линіямъ, перпендикулярнымъ къ симъ плоскостямъ и представляющимъ сопротивленія, испытуемыя плоскостями. Но здѣсь не нужно чтобы всѣ направленія сопротивленій сходились въ одну точку.

Разсмотримъ тѣло MN [фиг. 10], побуждаемое силами P и Q, которыя въ точкѣ A сходятся въ одну точку и находятся въ равновѣсіе около точки опоры C, о твердую плоскость XY. Положимъ, что неизмѣняя сей точки опоры, измѣнятъ чрезвычайно мало положеніе CA, то есть, что

Digitized by Google

заставятъ вращаться CA около C. Проведя перпендикуляры CD и CE къ AP и AQ, можно будетъ разсматривать DCE, какъ согнутый рычагъ. По показанному нами въ рычагѣ свойству, можно непосредственно видѣть, что пространство D*d*, пробѣгаемое точкою *d*, и пространство E*e*, пробѣгаемое точкою E, когда тѣло чрезвычайно мало измѣнитъ положеніе свое, суть обратно пропорціональны силамъ P и Q, имъ соотвѣтствующимъ, то есть, что P: Q = E*e*: D*d*. Откуда P×D*d* = Q×E*e*. Итакъ, правило скоростей находитъ здѣсь еще свое приложеніе.

Такъ какъ всѣ тѣла безпрестанно побуждаются къ движенію силою тяжести, то очевидно, что дабы тѣла покоющіяся на плоскостяхъ были въ равновѣсіи, должны удовлетворять показаннымъ нами условіямъ. Предположивъ, что никакая другая сила не побуждаетъ и неудерживаетъ тѣло, лѣжащее на плоскости, дабы оно было въ равновѣсіи, должно чтобы сія плоскость была перпендикулярна къ направленію тяжести, то есть къ вертикальной линіи.

Итакъ, твердая плоскость должна быть *горизонтальна*, дабы тѣло оставалось на оной въ равновѣсіи, когда оно непобуждается и неудерживается никакою другою силою.

Такова причина, покоторой въ художествахъ дѣлаютъ столь большое употребленіе твердыхъ и горизонтальныхъ плоскостей. Полы нашихъ комнатъ горизонтальны, дабы ставящіяся на нихъ мебели пребывали въ равновѣсіи; дабы мы сами непобуждались скользить или падать въ одну сто-

Digitized by Google

рону болѣе чѣмъ въ другую. По той же причинѣ, столы, полки, и проч. представляютъ также горизонтальныя плоскости. Посему равнодѣйствующая тяжести тѣла, проходя всегда чрезъ центръ тяжести онаго, должна удовлетворять всѣмъ условіямъ показаннаго нами равновѣсія, дабы тѣло оставленное дѣйствію своей тяжести и лежащее на горизонтальной плоскости, оставалось въ равновѣсіи. Итакъ:

1. Когда тѣло, положенное на плоскость, касается оной только въ одной точкѣ, то вертикальная линія, проведенная чрезъ сію точку должна проходить чрезъ центръ тяжести тѣла.

2 Когда тяжелое тѣло касается твердой плоскости въ двухъ точкахъ, то вертикальная линія, проведенная чрезъ центръ тяжести сего тѣла, должна проходить чрезъ прямую линію, соединяющую двѣ точки прикосновенія тѣла къ плоскости.

3. Когда тяжелое тѣло касается плоскости болѣе чѣмъ въ двухъ точкахъ, то вертикальная линія, проведенная чрезъ центръ тяжести сего тѣла, недолжна встрѣчать плоскость въ точкѣ, находящейся внѣ многоугольника, образованнаго безъ входящихъ угловъ, изъ прямыхъ линій соединяющихъ по двѣ, точки прикосновенія тѣла къ плоскости.

Возвратимся къ тому случаю, когда тѣло поддерживается одною точкою и находится въ равновѣсіи. Очевидно, что всякое сферическое тѣло ABC (фиг. 11), однородной матеріи, обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что будучи положено на горизонталь-

Digitized by Google

мую плоскость, необходимо будетъ на оной въ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, центръ тяжести сего тѣла находится въ центрѣ его фигуры. Всякой радіусъ GPC перпендикуляренъ къ горизонтальной плоскости MN, касающейся шара въ сей самой точкѣ C. Слѣдовательно прямая GPC, перпендикулярная къ горизонтальной плоскости есть вертикальна. Посему, сила GP равная дѣйствію тяжести сего тѣла на MN, исполняетъ всѣ необходимыя для равновѣсія условія.

Возмемъ тѣло ABC (фиг. 12), произшедшее отъ обращенія эллипсиса около своей большой оси. Если положимъ тѣло сіе на горизонтальную плоскость такъ, чтобъ большая ось AB была горизонтальна, то оно будетъ въ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, центръ тяжести G сего тѣла, предполагая его однороднымъ, находится здѣсь какъ и въ шарѣ, въ центрѣ его фигуры; а вертикальная PGC, проведенная чрезъ центръ, проходитъ чрезъ точку C, въ которой тѣло касается горизонтальной плоскости.

Равновѣсіе будетъ также и тогда, когда я положу ABC такимъ образомъ, чтобъ большая ось AGB [фиг. 13] была вертикальна; поелику равнодѣйствующая вѣса сего тѣла проходя чрезъ центръ G, пройдетъ равнымъ образомъ чрезъ точку A.

Но между сими двумя состояніями равновѣсія существуетъ весьма примѣчательная разность. Если я немного измѣню положеніе сего тѣла (фиг. 12), то оно вдругъ придетъ въ движеніе дабы возвратиться къ сему положенію равновѣсія; если же немного измѣню положеніе тѣла [фиг. 13],

Digitized by Google

то оно будетъ болѣе и болѣе отъ онаго удаляться и наконецъ упадетъ.

Въ первомъ случаѣ равновѣсія говорятъ, что тѣло имѣетъ *остойчивость*, а во второмъ неимѣетъ оной (*). *Остойчивостію* и *неостойчивостію* называютъ силу, съ которою тѣла стрѣмятся при-

(*) Изложенные предъ симъ выводы позволяютъ намъ рѣшить слѣдующую задачу:

Два тѣла ABC и *abc* (фиг. 16), положенныя на плоскость MN, въ которыхъ AG и *ag* вертикальны, будутъ имѣть остойчивость: спрашивается какія условія должны быть выполнены, чтобы ABC и *abc* немного выведенныя отъ ихъ положенія равновѣсія, но подпертыя одно объ другое въ точкѣ D, были въ равновѣсіи? Для большей простоты положимъ, что два тѣла совершенно равны между собою и равно наклонены; пусть P будетъ ихъ вѣсъ.

Каждое тѣло касается другаго по вертикальной плоскости, и одно отъ другаго испытываютъ равное давленіе $X = x$. Пусть GE и *ge* будутъ вертикальныя прямыя, опущенныя изъ центра тяжестей G и *g*, сихъ тѣлъ. Пусть C и *c*, будутъ точки прикосновенія сихъ тѣлъ съ плоскостью MN. Моментъ вѣса P тѣла BCD будетъ $P \times CE$, а для тѣла *bcd* будетъ $P \times ce$. Сіи два момента будутъ равны. Но X, *x* представляютъ взаимное давленіе двухъ тѣлъ, то возставя изъ двухъ точекъ C, *c*, перпендикуляры CX', *cx*' на сіи тѣла, получимъ для момента происходящаго отъ сего давленія $X \times CX' = x \times cx'$.

Посему въ случаѣ равновѣсія должно быть:

$P \times CE = X \times CX' = P \times ce = x \times cx'$.

Если бы вмѣсто двухъ тѣлъ было три, то задача рѣшилась бы такимъ же образомъ, приведя въ равновѣсіе моменты $P \times CE$ каждаго тѣла, съ давленіемъ произведеннымъ на сіе тѣло тремя прочими.

Солдаты рѣшаютъ задачу сію практическимъ образомъ при поностановленіи трехъ ружей въ козлы. Они ставятъ ружья шпыками на крестъ, такъ что конецъ каждаго ружья производитъ давленіе на другія два, тогда въ семъ положеніи равновѣсія, они будутъ имѣть остойчивость. Нѣтъ ничего легче, какъ вычислить давленія, производимыя на каждое ружье другими двумя, дабы они въ семъ положеніи были въ равновѣсіи.

Digitized by Google

близиться или удалиться отъ ихъ положенія равновѣсія, коль скоро онѣ его потѣряютъ.

Постараемся теперь измѣрить силу, приводящую такимъ образомъ въ равновѣсіе, или удаляющую отъ онаго, разсматриваемое нами тѣло.

Начнемъ съ перваго положенія. Представимъ себѣ, что большая ось AB [фиг. 14] немного наклоняется, такъ что тѣло будетъ касаться горизонтальной плоскости не въ точкѣ C, а въ точкѣ D. Тогда не PGC будетъ представлять равнодѣйствующую вѣса тѣла, а P′G*d*.

Дѣйствіе силы P′=P, заставляетъ тѣло AB вращаться около точки опоры D, плечомъ рычага равнымъ D*d*; посему моментъ, которымъ вѣсъ тѣла стрѣмится заставить низходить часть GAC и восходить часть BCG, равенъ P×D*d*. Но такъ какъ вѣсъ P, тѣла остается тѣмъ же, то чѣмъ болѣе удаляется тѣло сіе отъ первоначальнаго положенія, тѣмъ *d*D становится болѣе, и тѣмъ болѣе дѣлается моментъ P×*d*D; слѣдовательно, тѣмъ съ большею силою тѣло стрѣмится возвратиться въ свое первоначальное положеніе; итакъ оставивъ его самому себѣ, оно естественно возвратится въ свое первоначальное положеніе равновѣсія. *Сіе равновѣсіе будетъ остойчивое.*

Возставимъ вертикальную D*g*O, до прямой CGP, которая въ положеніи равновѣсіи также вертикальна; потомъ проведемъ горизонтальную G*g*. Мы получимъ D*d*=G*g*; слѣдовательно, P×G*g* равно моменту, которымъ тѣло стрѣмится принять свое первоначальное положеніе. Предположивъ, что уголъ GO*g* чрезвычайно малъ, можно будетъ G*g* разсма-

Digitized by Google

тривать какъ равную дугѣ, описанной между OGC и OgD, изъ точки O какъ центромъ и радіусомъ OG.

Точка O есть та, которую Геометры называютъ *метацентромъ* тѣла ACB. Слѣдовательно, когда равновѣсіе будетъ остойчиво, то метацентръ находится всегда выше центра тяжести. Для постоянной степени наклоненія новой вертикальной OD къ первоначальной OC, дуга *Gg* пропорціональна радіусу; посему моментъ P×*Gg* будетъ также пропорціоналенъ радіусу GO, равному разстоянію центра тяжести отъ метацентра. Итакъ, разстояніемъ симъ можно измѣрить *остойчивость* тѣлъ.

Возвратимся ко второму случаю. Положимъ, что поставивъ тѣло ACB на конецъ A его большой оси, немного отведутъ отъ первоначальнаго положенія равновѣсія, какъ видно въ фигурѣ 15, гдѣ D есть новая точка прикосновенія тѣла съ горизонтальною плоскостію. Проведя вертикальную *Gd*, она падетъ внѣ точекъ A и D; и для мѣры силы, которою вѣсъ P стрѣмится увлекать тѣло, дабы заставить его упасть, получимъ P×D*d*=P×G*g*. Здѣсь, также какъ и въ предыдущемъ случаѣ, если уголъ GO*g* будетъ чрезвычайно малъ, то *Gg* можно принять за дугу описанную изъ центра O. Тогда, для даннаго наклоненія AB, относительно вертикальной, радіусъ OG пропорціоналенъ разстоянію *Gg*=D*d*.

Точка O есть также та, которую мы назвали *метацентромъ*. Но сей метацентръ, вмѣсто того чтобъ быть выше центра тяжести, находится ниже его. Между тѣмъ, разстояніе онаго до

Digitized by Google

центра тяжести можетъ служить мѣрою *неостойчивости*, какъ въ случаѣ фиг. 14, помощію его можно было получить мѣру *остойчивости* тѣла ACB, положеннаго на плоскость MN.

Если метацентръ O будетъ находиться въ центрѣ тяжести G, то вертикальная OD должна будетъ слиться съ вертикальною G*d*. Но тогда вертикальная, проходящая чрезъ центръ тяжести G, пройдетъ также чрезъ точку опоры D, почему разстояніе D*d* будетъ нуль; итакъ моментъ $P \times Dd = 0$. Слѣдовательно, въ такомъ случаѣ непроизойдетъ никакого усилія дабы заставить тѣло двигаться, которое будетъ находиться въ равновѣсіи.

Повторимъ сказанное вкратцѣ: когда метацентръ находится въ центрѣ тяжести, то равновѣсіе будетъ существовать послѣ выведенія тѣла изъ покоя, какъ и до онаго: такое равновѣсіе называютъ *неразличительнымъ*. Когда метацентръ будетъ выше центра тяжести, тогда тѣло, выведенное изъ состоянія равновѣсія, будетъ стараться принять свое первоначальное положеніе; сіе равновѣсіе именуется *остойчивымъ*. Когда метацентръ находится ниже центра тяжести, то тѣло, однажды выведенное изъ состоянія равновѣсія, стремится болѣе и болѣе удаляться онаго; таковое равновѣсіе есть *неостойчивое*.

Наконецъ, во всѣхъ сихъ случаяхъ, мѣра остойчивости или неостойчивости опредѣляется произведеніемъ вѣса тѣла на разстояніе центра тяжести до метацентра, который здѣсь есть *центръ*

Digitized by Google

кривизны дуги AD, начерченной на тѣлѣ, между точками A и D.

Теорія остойчивости тѣлъ, которыя могутъ быть выведены изъ ихъ положенія равновѣсія, представляетъ чрезвычайно важныя приложенія для богатства и жизни гражданъ, для чести и силы государства. Когда корабли сохраняютъ на морѣ остойчивое равновѣсіе, тогда они плаваютъ съ безопасностію для общей промышленности, или для защиты страны. Напротивъ, съ того мгновенія, когда сіе равновѣсіе теряетъ свою остойчивость, корабль стремится опрокинуться, изломаться и потопить находящихся на немъ всѣхъ матросовъ и солдатъ. Теорія остойчивости кораблей имѣетъ весьма близкія отношенія съ показанными нами правилами. Но дабы теорію сію сдѣлать полною, то къ ней должно присовокупить еще другія правила, основанныя на силѣ жидкостей. Смотри III томъ. Движущія силы.

Разсмотрѣвъ равновѣсіе тѣла на горизонтальной плоскости, должно разсмотрѣть состояніе сего тѣла на *наклонной плоскости*. Такъ называютъ всякую плоскость, которая не горизонтальна и не вертикальна.

Наклоненіе сей плоскости измѣряютъ угломъ, дѣлаемымъ ею съ горизонтальною плоскостію, а Геометрія [Глава VII] легко приводитъ измѣреніе сего угла двухъ плоскостей къ мѣрѣ угла, образованнаго двумя прямыми линіями. Одна изъ нихъ находится на горизонтальной плоскости, а другая на наклонной, и обѣ проводятся изъ одной

Digitized by Google

точки, взятой на пересѣченіи двухъ плоскостей, перпендикулярно къ оному.

Представимъ горизонтальную плоскость, горизонтальною линіею MN [фиг. 17], а наклонную плоскость прямою AC, которая съ линіею MN дѣлаетъ тотъ же уголъ, какой дѣлаетъ наклонная плоскость съ горизонтальною.

Положимъ какое нибудь тѣло на AC. Если тѣло сіе не удерживается какою либо постороннею силою, то вѣсъ его PG можно разложить на двѣ силы qG и pG, одну параллельную, а другую перпендикулярную къ наклонной плоскости. Дѣйствіе сей послѣдней будетъ уничтожено, если перпендикуляръ pG не падетъ внѣ многоугольника, произшедшаго отъ соединенія прямыми линіями точекъ прикосновенія. Итакъ о силѣ pG можно сказать все то, что мы представили о равновѣсіи остойчивомъ и неразличествующемъ тѣлъ, покоющихся на горизонтальныхъ плоскостяхъ.

Что касается до силы qG, дѣйствующей параллельно плоскости CA, она со стороны сей плоскости не будетъ претерпѣвать никакого сопротивленія, и если сй небудетъ препятствовать никакая посторонная сила, то она заставитъ тѣло скользить по длинѣ наклонной плоскости.

Пространство, которое тѣло сіе пробѣжитъ по плоскости, относится къ пространству, которое бы оно пробѣжало, падая свободно по направленію PG, такъ какъ сила qG влекущая его параллельно AC, относится къ силѣ PG, которая дѣйствуетъ на него вертикально.

Digitized by Google

Дабы тѣло двигалось силою qG, или лучше, было бы удерживаемо силою $q'G$, равною и дѣйствующею въ противную сторону, должно всегда, если хотятъ получить равновѣсіе, чтобъ перпендикуляръ pG падалъ въ ту точку, въ которой тѣло касается наклонной плоскости AC, если оно касается оной только въ одной точкѣ. Если же много будетъ точекъ прикосновенія, то перпендикуляръ pG долженъ падать внутрь многоугольника, неимѣющаго входящихъ угловъ и образованнаго соединеніемъ точекъ касанія тѣла съ наклонною плоскостію. Теорія сія находитъ весьма полѣзное приложеніе въ остойчивости экипажей, находящихся въ покоѣ или въ движеніи.

Когда тѣло G [фиг. 18] удерживается въ равновѣсіи на наклонной плоскости AC, одною только силою GQ параллельною сей плоскости, то разложивъ PG вѣсъ тѣла на pG и qG, должно быть: 1. Чтобъ сила pG, которая предполагается одна, дѣйствующею перпендикулярно къ AC, удерживало на оной въ равновѣсіи тѣло G, предполагаемое неимѣющимъ тяжести; 2. Что qG, проходя чрезъ центръ тяжести G, даетъ:

Сила Q: силѣ $P = qG$: PG. Если проведемъ NO перпендикулярно къ горизонтальной плоскости, то трехугольники ANO и PGq будутъ подобны; и получимъ AO: NO = PG: qG [= QG]; то есть, *вѣсъ тѣла относится къ силѣ* GQ *его уравновѣшивающей, какъ длина* AO *наклонной плоскости относится къ ея высотѣ* NO.

Еслибъ сила QG [фиг. 19] была горизонтальна, то равнодѣйствующая pG силъ QG и PG должна

Digitized by Google

проходитъ чрезъ точку *p* прикосновенія тѣла съ плоскостію, что даетъ пропорцію PG: QG [=*p*P] =MN: NO, то есть, *вѣсъ тѣла относится къ силѣ его уравновѣшивающей, какъ основаніе наклонной плоскости къ ея высотѣ.* Сія теорема, весьма простая въ своемъ выраженіи, имѣетъ безпрестанное употребленіе въ Механикѣ.

Digitized by Google

Digitized by Google

ГЛАВА ДВѢНАДЦАТАЯ.

О винтѣ, скручиваніи, веревкахъ; о клинѣ и относящихся къ оному орудіяхъ.

Для полнаго уразумѣнія главы сей должно со вниманіемъ пересмотрѣть XII главу Геометріи, *о спиральныхъ линіяхъ и поверхностяхъ.*

Скажемъ нѣсколько словъ о геометрическихъ свойствахъ сихъ линій и поверхностей. Цилиндрическая спираль есть кривая линія, начерченная на кривой поверхности цилиндра, такъ что повсюду составляетъ съ ребрами сего цилиндра одинъ и тотъ же уголъ. Когда положеніе цилиндра таково, что ребра онаго вертикальны, то спираль будетъ дѣлать съ вертикальною одинъ и тотъ же уголъ: ея наклоненіе будетъ постоянно.

Если положимъ что прямая линія, которой наклоненіе также постоянно, будетъ двигаться по длинѣ спирали, составляя съ сей кривою одинъ и тотъ же уголъ, тогда прямая сія движеніемъ своимъ опишетъ спиральную поверхность. Плоскость, касательная къ сей спиральной поверхности равно наклонена въ отношеніи вертикальной линіи, во всѣхъ точкахъ спирали.

Если желаютъ чтобъ тѣло спускалось или поднималось по длинѣ спирали, упираясь въ спиральную поверхность, то оно будетъ двигаться какъ по наклонной плоскости, по прямой линіи, имѣющей наклоненіе сей спирали: сія плоскость имѣетъ на-

Digitized by Google

клоненіе плоскостей касательныхъ къ спиральной поверхности.

Пусть AM*ob* (фиг. 1) представляетъ развернутую поверхность цилиндра, на которой сдѣланъ винтъ, по трехугольнымъ [фиг. 2] или по четырехугольнымъ [фиг. 3] нарѣзкамъ. Каждый оборотъ нарѣзки развертывается [фиг. 1] по прямой линіи, которой длина постоянна, *b*B=*c*C=*d*D= . . . . . .

Тяжелое тѣло, принужденное возходить или низходить по одной изъ сихъ линій, напримѣръ по *m*M, и будучи удерживаемо горизонтальною силою P, дастъ слѣдующую пропорцію: *сила* P *относится къ вѣсу тѣла, какъ высота то оборота винта относится къ линіи* o*M, равной окружности цилиндра, на которомъ сдѣланы нарѣзки.*

Изложивъ сіи первоначальныя понятія, посмотримъ какое сдѣлано употребленіе изъ винта. Его соединяютъ съ гайкою, представляющею тотъ же самый цилиндръ, коего вогнутая поверхность имѣетъ тѣже самыя нарѣзки что и винтъ. То прикрѣпляютъ къ сей гайкѣ колесо съ рукоятками, для обращенія оной, подобно тому какъ вертятъ колесо ворота; то прикрѣпляютъ къ гайкѣ одинъ или многіе рычаги, подобные рычагамъ ворота и кабестана. Иногда довольствуются тѣмъ, что оставляютъ головкѣ гайки, ея четырехугольную форму, а потомъ ключемъ имѣющимъ четырехугольную вырѣзку того же размѣренія, который надѣвается на гайку, повертываютъ ее въ ту или другую сторону.

Digitized by Google

Мы замѣтили въ Геометріи, въ Главѣ XII, что есть винты и гайки, коихъ нарѣзки идутъ направо [фиг. 2 и 3], и которыя есть наиупотребительнѣйшія; есть другія поварачивающіяся на лѣво. Винтъ поварачивающійся по одному направленію неможетъ ввинчиваться въ гайку, поварачивающуюся по другому направленію. Винты и гайки бываютъ двухъ системъ:

I. *Система неподвижной гайки.* Въ сей системѣ заставляютъ винтъ, то ввинчиваться, то вывинчиваться, поворачивая его въ гайкѣ, которая остается неподвижною. Тогда сила прилагается къ одному изъ концевъ винта. Конецъ сей, который обыкновенно бываетъ квадратный, получаетъ названіе *головки винта.*

II. *Система неподвижнаго винта.* Здѣсь винтъ остается неподвижнымъ, а гайка движется кругомъ по длинѣ его.

Въ обоихъ сихъ случаяхъ, какъ для равновѣсія наклоненной плоскости, къ которой мы привели равновѣсіе винта, *сила и сопротивленіе, которое она уравновѣшиваетъ, находятся въ обратномъ отношеніи пространствъ, переходимыхъ ими въ продолженіе одного и того же времени.*

Но когда сила сдѣлаетъ полный оборотъ, тогда она пробѣжитъ окружность круга, описанную радіусомъ, равнымъ разстоянію оси до сей силы; и въ продолженіе того же времени, сопротивленіе, дѣйствующее параллельно оси, пробѣжитъ одинъ оборотъ винта. Посему, *сила умноженная на длину окружности круга, пробѣгаемаго ею око-*

Digitized by Google

ло оси винта, равна сопротивленію умноженному на длину оборота винта.

Итакъ, чѣмъ оборотъ винта будетъ менѣе и чѣмъ длиннѣе плечо рычага, къ концу котораго приложена дѣйствующая сила, тѣмъ меньшею силою можно уравновѣсить большое сопротивленіе.

Когда при выдѣлкѣ винтовъ и гаекъ не соблюдалась чрезвычайная точность, тогда въ нѣкоторыхъ частяхъ между винтомъ и гайкою останется пустота; въ другихъ частяхъ нарѣзки винта должны сдавиться, или нарѣзки гайки расшириться, дабы могло произойти движеніе. Инструменты, употребляемые для выдѣлки нарѣзокъ винта требуютъ чрезвычайной точности въ формѣ и въ движеніи.

Есть два рода дѣйствій, производимыхъ на винтъ и его гайку, когда ихъ подвергаютъ дѣйствію силы, дабы преодолѣть сопротивленіе.

Первый родъ стрѣмится изломать нарѣзки винта, силою давленія, производимаго параллельно оси: силою, производимою самимъ винтомъ при нажиманіи или вытягиваніи. Сія сила разлагается на столько частей, сколько можно предположить точекъ прикосновенія между винтомъ и гайкою. Часть сопротивленія перенесенная въ каждую изъ сихъ точекъ находится въ обратномъ отношеніи поверхности нарѣзокъ, предполагаемой перпендикулярною къ оси: поверхности пропорціональной выпуску нарѣзокъ, для одной и той же длины оныхъ. Но есть выпуски, которыхъ нельзя миновать непредположивъ, что нарѣзки изломаются отъ ма-

Digitized by Google

лѣйшаго удара. При трехугольной профили нарѣзокъ предпочитаютъ трехугольникъ, имѣющій всѣ три стороны равныя. Когда же сія профиль есть четырехугольникъ, тогда ей даютъ фигуру квадрата. Посему винты бываютъ двухъ родовъ, первыя называются *винтами съ трехугольными нарѣзками* (фиг. 2), а другіе *винтами съ квадратными нарѣзками* [фиг. 3].

Когда винты должны выдерживать посредственныя усилія и преодолѣвать посредственныя же препятствія, тогда ихъ дѣлаютъ деревянными. Для сего должно выбирать крѣпкія породы дерева, какъ напримѣръ, буксовое, букъ, грушевое, которыхъ различныя части имѣютъ достаточное по продольному направленію соединеніе. Однако винты сіи подвержены тому, что нарѣзки ихъ легко ломаются; сему важному неудобству неподвержены винты металлическіе.

Металлическіе винты имѣютъ притомъ ту большую выгоду, что могутъ выдержать данное сопротивленіе при объемѣ гораздо менѣе значительномъ.

Трудно изчислить въ подробности всѣ приложенія винта при употребленіи его въ машинахъ. Онъ особенно служитъ для произведенія сильныхъ давленій. Таковъ есть винтъ, приложенный къ тискамъ переплетчика, для пресованія книгъ.

Пресъ имѣетъ также предметомъ своимъ производить большое давленіе. Въ сей машинѣ гайка неподвижна и продолжается въ видѣ усѣченной квадратной пирамиды, которая основаніемъ кладется

Digitized by Google

на землю. Винтъ приводится въ движеніе двумя плечами рычага (фиг. 4).

Когда два твердыя тѣла должно одно къ другому сильно прижать, то пропускаютъ сквозь ихъ болтъ [фиг. 5], который съ одной стороны имѣетъ шляпку служащую задержкою, а съ другой стороны винтовую нарѣзку. Пропустивъ чрезъ диру, заранѣе приготовленную болтъ, служащій для соединенія двухъ тѣлъ, завинчиваютъ ключемъ гайку. Такимъ образомъ въ гражданскихъ и морскихъ строеніяхъ соединяютъ большое число важныхъ частей.

Винтъ можно разсматривать какъ зубчатый цилиндръ. Такимъ образомъ употребляютъ цилиндръ сей для сообщенія движенія зубчатымъ колесамъ. Такова система *безконечнаго винта*.

Безконечный винтъ употребляется въ большой части машинъ; напримѣръ въ вертелѣ. Безконечный винтъ можно соединить съ воротомъ или кабестаномъ, и проч.

Винтъ соединяютъ съ зубчатымъ колесомъ, какъ видно въ фиг. 6. Симъ способомъ передаютъ движеніе съ одной оси *bc*, параллельной плоскости, на другую ось, представленную точкою *o* и перпендикулярною къ сей плоскости.

Пусть сила F будетъ приложена къ рукояткѣ *cpp'*, къ концу плеча рычага *cp*; пусть *f* будетъ сила переданная помощію безконечнаго винта зубчатому колесу, коего радіусъ есть *mo*. Наконецъ, пусть R будетъ сопротивленіе, дѣйствующее на конецъ плеча рычага *no*, то получимъ:

Digitized by Google

1. $f = \frac{\text{окруж. опис. рукояткою}}{\text{ширину винта}} \times F$; 2. $R = \frac{mo}{no} f$.

Посему $R = \frac{mo}{no} \times \frac{\text{окруж. опис. рукояткою}}{\text{широту винта}} \times F$,

Равенство сіе даетъ отношеніе силы къ сопротивленію.

Второй родъ дѣйствія производимаго на винтъ и его гайку, силою и сопротивленіемъ, стрѣмится *скрутить винтъ и гайку*. Дабы получить точное понятіе о дѣйствіи сего рода, разсмотримъ связку равныхъ между собою призмъ, каковы суть древесинныя волокна, которыя соединеніемъ своимъ образуютъ дерево. Положимъ, что хотятъ скрутить сіе дерево, приложивъ къ оконечностямъ онаго двѣ силы F, f [фиг. 7], перпендикулярныя къ направленію волоконъ и стрѣмящіяся вертѣть дерево въ противныя стороны. Если цилиндрическое дерево неимѣетъ совершенной твердости, то оно уступитъ дѣйствію сихъ двухъ силъ. Одно изъ его основаній будетъ вертѣться съ права на лѣво, между тѣмъ какъ другое съ лѣва на право. Положимъ, что по всей длинѣ дерева, будетъ одна и таже степень сопротивленія. Представимъ еще различныя сѣченія, сдѣланныя плоскостями параллельными основаніямъ, въ равныхъ между собою разстояніяхъ; тогда первое повернется относительно втораго на тотъ же уголъ что и второе относительно третьяго, какъ и третіе въ отношеніи четвертаго, и т. д. Посему точки, которыя на каждомъ основаніи сначала образуютъ прямолинейную жилку образуютъ спираль, отъ усилія двухъ силъ, дѣйствующихъ въ противныя

Digitized by Google

стороны, въ различныхъ точкахъ длины дерева. Таковое преобразованіе называется *крученіемъ*.

Если волокна не срослись и могутъ одни по другимъ скользить, или покрайнѣй мѣрѣ, удерживаются только трѣніемъ, тогда крученіе цилиндра или пука, образованнаго соединеніемъ сихъ волоконъ, есть то, которое производятъ при выдѣлкѣ веревокъ.

Здѣсь можно предложить вопросъ, каково будетъ сопротивленіе противополагаемое крученію, при однородныхъ деревахъ, но различныхъ діаметровъ. Для удобнаго рѣшенія вопроса сего должно принять два чрезвычайно тонкіе и равной толщины цилиндра, или лучше сказать, которыхъ чрезвычайно малая толстота одинакова, но которые разнятся діаметрами и притомъ имѣютъ туже длину. Приложимъ къ симъ цилиндрамъ въ направленіи плоскости ихъ основаній касательныя силы, которыя стрѣмятся вращать въ противныя стороны, и слѣдовательно скрутить. Для одного и того же угла крученія волоконъ идущихъ по направленію реберъ сихъ цилиндровъ, дабы скрутить волокна одного и того же объема, потребна одна и таже сила. Но число сихъ волоконъ пропорціонально окружности основаній. Посему: 1. чтобы скрутить два чрезвычайно тонкіе пустые цилиндра, такимъ образомъ чтобъ волокна ихъ дѣлали съ первоначальнымъ ихъ направленіемъ одинъ и тотъ же уголъ, должно употребить силы, пропорціональныя окружностямъ основаній, слѣдовательно радіусамъ цилиндровъ.

Представимъ себѣ сплошное цилиндрическое дерево, мысленно раздѣленное на концентрическіе,

Digitized by Google

ровной толщины, пустые цилиндры; положимъ, что всѣмъ симъ цилиндрамъ сообщаютъ одно и тоже крученіе, такъ что каждая ихъ точка, находящаяся на сѣченіи, перпендикулярномъ къ оси, сохраняетъ свое относительное положеніе. Очевидно, что послѣ крученія уголъ образованный волокнами съ ихъ первоначальнымъ положеніемъ будетъ пропорціоналенъ разстоянію сихъ волоконъ до оси. По причинѣ крученія, каждое волокно употребляетъ для своего разкрученіе усиліе пропорціональное радіусу того цилиндра, въ которомъ оно находится и производитъ его въ отношеніи оси, плечомъ рычага равнымъ сему самому радіусу. Слѣдовательно сила, которую должно употребить для крученія каждаго волокна пропорціональна квадрату разстоянія оной до оси. Изъ сего слѣдуетъ, что вся сила, нужная для сообщенія цилиндрамъ степени крученія, взятаго за единицу, пропорціональна суммѣ моментовъ инерціи ихъ основанія въ отношеніи оси; то есть, пропорціональна площади основанія цилиндра, помноженной на квадратъ радіуса. Посему, если радіусы будутъ:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,..... то,

числа 1, 16, 81, 256, 625, 1296, 2401, 4096, 6563, 10,000,.....

означутъ отношеніе силъ, могущихъ произвести туже степень крученія, въ различныхъ *данной* длины цилиндрахъ, между силами побуждающими ихъ къ крученію.

Пусть будутъ два цилиндра различныхъ радіусовъ r и R [фиг. 8 и 9], побуждаемые къ крученію, первый равными силами f и f', а второй равными силами F и F'. Поелику разстоянія mq и

Digitized by Google

MQ сихъ силъ суть равныя, то когда f: F=площ. $mns \times r^2$: площ. MNS$\times R^2$, углы крученія mon и MON, будутъ равны между собою, и такъ какъ o и O, суть центры основаній, то

$$mn : MN = r : R.$$

Если взять MN′=mn, и крутить большой цилиндръ такъ чтобы волокно QM приняло положеніе QN′, тогда оно съ первоначальнымъ положеніемъ своимъ MQ, составитъ такой же уголъ, какой составитъ уголъ волокно qn съ первоначальнымъ положеніемъ своимъ mq. Пусть F будетъ сила, необходимая для крученія большаго цилиндра по направленію QN′; то получимъ

$$F : F : MN : MN' = R : r, \text{ откуда}$$

$$F = F.\frac{r}{R};$$

$$\text{но} \quad F = f.\frac{\text{площ. MNS}}{\text{площ. } mns} \times \frac{R^2}{r^2}$$

$$\text{то} \quad F = f.\frac{\text{площ. MNS}}{\text{площ. } mns} \times \frac{R}{r}.$$

Если наклоненіе qn достаточно для разрыванія и раздѣленія волоконъ малаго цилиндра, то тоже самое наклоненіе QN′, произшедшее отъ силы F, произведетъ тоже дѣйствіе на большій цилиндръ: посему, f *и* F, *производящія разрываніе цилиндровъ различныхъ діаметровъ, пропорціональны площадямъ основаній, умноженнымъ на радіусъ сихъ основаній.* Выводъ сей весьма примѣчателенъ своею простотою.

Зная сопротивленіе дерева приопредѣленномъ размѣреніи, помощію показанныхъ отношеній легко вычислить сопротивленіе того же рода дерева,

Digitized by Google

другаго размѣренія. Очевидно сколь важны таковые выводы для установленія размѣреній деревянныхъ частей въ машинахъ; напримѣръ, валовъ ворота и кабестана, и проч.

Сила крученія измѣняется по состоянію атмосферы и по свойству каждаго рода дерева. Въ сырое время, дерево болѣе сопротивляется крученію, въ сухое же напротивъ, оно съ большею легкостію уступаетъ силамъ, побуждающимъ его къ оному. Выводъ сей, который какъ кажется противорѣчитъ обыкновенно получаемымъ понятіямъ, доказывается безчисленными опытами, производимыми Дюпенемъ о крученіи дерева.

Крученіе веревокъ. Теперь можемъ мы показать важнѣйшія приложенія, которыя предлагаютъ спиральныя линіи.

По показанному нами въ XII главѣ Геометріи, видно, что каждая изъ нитей, составляющая веревку, сгибается отъ дѣйствія крученія по спирали; что всѣ сіи спирали имѣютъ общею осью самую ось веревки, то есть линію, которая во всѣхъ точкахъ равно отстоитъ отъ окружности веревки, предполагаемой къ ней перпендикулярною. Всѣ нити, равно удаленныя отъ оси, имѣютъ туже длину между двумя сѣченіями перпендикулярными къ оси. Но тѣ нити, которыя не равно отстоятъ отъ оси, неимѣютъ одной и той же длины и сія длина возрастаетъ по мѣрѣ увеличенія разстоянія отъ оси. Дабы получить о семъ точное понятіе, то пусть ABCD, ABC′D′, ABC″D″, и проч. (фиг. 10) будутъ прямоугольники, которые при одной высотѣ AB равной ши-

Digitized by Google

ринѣ, общей прочимъ спиралямъ, образованнымъ нитями; длины AD, AD′ AD″, ... представляютъ длину окружностей различныхъ слоевъ нитей, образующихъ веревку. Если изъ точки B проведемъ наклонныя BD, BD′, BD″, ... то сіи наклонныя изобразятъ длину частей нити, образующей полный оборотъ спирали на окружностяхъ, принадлежащихъ соединеніямъ D, D′, D″, ... Всѣ сіи наклонныя неравны между собою и тѣмъ дѣлаются длиннѣе, чѣмъ болѣе удаляются отъ линіи AB, перпендикулярной къ AD.

Если бы взяли собраніе нѣсколькихъ параллельныхъ нитей, которыя потомъ вмѣстѣ начали крутить постариннному способу, непозволяя нитямъ скользить между собою, то надлежало бы чтобъ средняя нить, представленная чрезъ AD, сдѣлалась короче, а нить на внѣшней окружности, изображенная чрезъ BD, сдѣлалась длиннѣе: такъ, чтобъ между двумя сѣченіями AD и BC, двѣ части нити, бывшія сначала равной длины, приведены были къ AB и BD. Посему, дабы нити составляющія веревку, свитую по старинному способу, были въ равновѣсіи и дабы сама веревка сохраняла свою форму, должно: 1. чтобы часть внутреннихъ нитей была сжата; 2. чтобы внѣшнія и къ нимъ близкія нити были вытянуты; 3. чтобъ сопротивленіе къ вытягиванію было въ равновѣсіи съ сопротивленіемъ къ сжиманію.

Представимъ себѣ, что веревка такимъ образомъ свитая, натягивается силами, приложенными къ двумъ концамъ оной; то дѣйствіи силъ будетъ стрѣмиться вытянуть веревку. Поелику

Digitized by Google

нити идущія около центра находятся сжатыми, то употребляемыя теперь силы будутъ стрѣмиться заставить ихъ принять первоначальное состояніе и со стороны сихъ нитей небудутъ претерпѣвать сопротивленія, а напротивъ, существуемое въ нихъ сжатіе будетъ благопріятствовать симъ силамъ. Посему вытягиванію веревки будутъ препятствовать только внѣшнія нити и тѣ, которыя близки къ нимъ.

Итакъ, въ веревкахъ свитыхъ по старинному способу, одна только часть нитей каждой веревки препятствуетъ вытягиванію и разорванію оной, и притомъ не одинаково. Посему, если нити способны только къ нѣкоторой степени вытягиванія, то при дѣйствіи новыхъ силъ, нити разположенныя по внѣшней части веревки достигнувъ сей степени натягиванія разорвутся, когда внутреннія нити только будутъ достигать ихъ большей степени сопротивленія. Когда первыя внѣшнія нити разорвутся, тогда слѣдующій за ними рядъ нитей, болѣе удаленный отъ центра долженъ также разорваться, и такъ далѣе.

Разобравъ сіи послѣдовательныя сопротивленія, узнали всю выгоду, когда послѣ крученія веревки нити составляющія оную равно вытянуты. Симъ способомъ, всѣ нити вдругъ равно сопротивляются вытягиванію. Очевидно, что таковое дѣйствіе будетъ имѣть тѣмъ болѣе силы, чѣмъ веревка будетъ толще, поелику тогда разность между вытягиваніемъ внѣшнихъ и внутреннихъ нитей будетъ тѣмъ больше.

Digitized by Google

Таково начало, на которомъ Англичане основали новую машину для крученія веревокъ. Дюпень былъ первымъ, познакомившимъ Французовъ съ сею машиною, которую они потомъ улучшили, и которая принесла большую выгоду для ихъ мореходства. Желательно, чтобъ и Русскіе послѣдовали сему примѣру.

Посредствомъ машинъ Барона Лера и Губерта, въ портахъ Бреста и Рошефорта, крутятъ веревки, которыя гораздо крѣпче прежнихъ, отъ чего оснастка кораблей дѣлается легче. Такимъ образомъ, сохраняя силу веревокъ можно уменьшить ихъ діаметръ, а слѣдовательно также и размѣренія блоковъ, употребляемыхъ при сихъ веревкахъ, отъ чего много облегчаются мачты кораблей.

Остается желать, чтобъ наши торговые порты, при выдѣлкѣ веревокъ предпочли сіи новыя правила; они преобрѣтутъ отъ сего двоякую выгоду: сбѣреженіе матеріала и силы.

О клинѣ. Клиномъ называется трехугольная призма, которая посредствомъ остраго ребра EF [фиг. 11] раздѣляетъ два тѣла, или двѣ части одного и того же тѣла. Сіе ребро называется *острее.мъ* клина; сторона ABCD, противоположная острею именуется *обухомъ* [затылкомъ], а двѣ боковыя стороны ADEF и BCEF, по правую и лѣвую сторонамъ клина лѣжащія, *щеками* или *сторонами* клина.

Клинъ употребляется во многихъ ремеслахъ, для раздѣленія или разсѣканія; наши ножи, ножницы, сабли, топоры, также суть клинья, употре-

Digitized by Google

бляемые въ потребностяхъ мира и войны. Равнымъ образомъ къ клину должно причесть скобель, рѣзакъ, кирку, лопату, заступъ, и проч. Посему клинъ есть одна изъ тѣхъ важныхъ машинъ, которыми мы можемъ заниматься.

Пусть клинъ ABC [фиг. 12] будетъ стрѣмиться оттолкнуть силою P, точку E удерживаемую силою G и точку F, удерживаемую также одною силою K. Опредѣлимъ условія равновѣсія сей системы.

Когда силы G и K, относительно не перпендикулярны къ сторонамъ AC и BC, то какова бы не была сила P, точки E и F будутъ скользить по длинѣ сторонъ AC и BC; слѣдовательно, состояніе равновѣсія будетъ нарушено. Посему: 1. G перпендикулярна къ AC, а K къ BC; 2. чтобъ три силы P, G и K, дѣйствуя на клинъ ABC, могли быть въ равновѣсіи, то должно чтобъ сіи три силы сходились въ одну точку O и чтобъ одна изъ нихъ могла быть разсматриваема какъ равнодѣйствующая другихъ двухъ.

Построивъ на продолженныхъ OG, OK и OP, параллелограмъ $Opqq$, должно быть чтобъ

Сила P: силѣ G: силѣ K$=Op:On:Oq$ [$=pp$]. Таково условіе равновѣсія клина.

Три стороны трехугольника Opp, относительно перпендикулярны къ тремъ сторонамъ трехугольника ABC, то будетъ

Сила P : силѣ G : силѣ K$=$AB : AC : BC.

Когда двѣ стороны клина AC и BC [фиг. 13], равны между собою, то сопротивленія G и K, пропорціональныя симъ сторонамъ, доджны быть

Digitized by Google

также равны между собою. Таковой случай весьма часто представляется въ практикѣ. Итакъ, двѣ стороны ножа, топора и сабли, вообще суть симметрическія. Тогда сила относится къ сопротивленію, испытываемому при отталкиваніи каждой стороны, какъ ширина обуха клина къ длинѣ щеки. Чѣмъ клинъ будетъ острѣе, тѣмъ при томъ же обухѣ, щеки его будутъ длиннѣе; но когда стороны его неизмѣняются, тогда обухъ дѣлается уже. Вотъ почему данною силою уравновѣшиваютъ сопротивленіе тѣмъ большее, чѣмъ клинъ будетъ острѣе и чтобъ уничтожить данное сопротивленіе, потребна тѣмъ меньшая сила, чѣмъ острѣе клинъ.

Если бы вмѣсто одной силы EG или FK, приложенной въ каждой точкѣ E или F, были двѣ, то равнодѣйствующая сихъ силъ должна быть перпендикулярна къ соотвѣтствующимъ сторонамъ AC или BC; нѣтъ ничего легче, какъ рѣшить сію новую задачу.

Соединимъ точки приложенія E и F [фиг. 15], сопротивленій EG и FK, прямою линіею *g*EF*k*; потомъ проэктируемъ EG и FK на линію *g*EF*k*, перпендикулярами G*g* и K*k*. Тогда E*g* и F*k* представятъ силы, стрѣмящіяся удалять точки E и F одну отъ другой.

Когда стороны AC и BC [фиг. 15], равны между собою, сопротивленія EG и FK будутъ также равны; то линія EG съ направленіями EG и FK будетъ дѣлать одинъ и тотъ же уголъ; тогда сопротивленія E*g* и F*k*, будутъ также равны между собою.

Digitized by Google

Положимъ, что кромѣ силы P [фиг. 11] перпендикулярной къ острею EF, на клинъ будетъ дѣйствовать другая сила Q параллельная сему острею. Въ такомъ случаѣ клинъ будетъ углубляться, какъ будто на него дѣйствовала одна только сила P и будетъ двигаться по направленію острея, какъ будто на него дѣйствуетъ одна только сила Q.

Вотъ что говоритъ теорія о тѣлахъ, которыхъ различныя части имѣютъ совершенную непрерывность; но въ природѣ, тѣла не имѣютъ сей непрерывности. Чрезвычайно малыя и часто непримѣтныя для глазъ шероховатости ихъ должно разсматривать какъ малые выдающіеся и вросшіе въ поверхность клинья.

При нажиманіи клина на тѣло болѣе или менѣе сжимаемое, оно уступаетъ давленію; а по мѣрѣ увеличенія числа точекъ прикосновенія между клиномъ и симъ тѣломъ, увеличивается сопротивленіе.

Если заставимъ клинъ скользить по тѣлу, то каждая изъ неровностей его поверхности содѣлается, какъ мы сказали, особеннымъ клиномъ, который стрѣмится входить въ тѣло со всѣмъ избыткомъ силы предъ сопротивленіемъ, которое можетъ быть опредѣлено болѣе или менѣе острою формою сихъ поверхностей. Посему, въ сей системѣ, сила употреблена гораздо выгоднѣе, нежели дѣйствуя на клинъ силою перпендикулярною къ направленію его острея. Опытность показываетъ дѣйствіе сей большей выгоды во многихъ работахъ художествъ.

Digitized by Google

Мы можемъ изъясненіе наше сдѣлать очевиднѣе описаніемъ машины, въ которой неровности сдѣланы промышленностію нарочно. Машина, о которой мы хотимъ говорить есть *пила*. Вообразимъ металлическую полосу ABCD [фиг. 16], которой сторона CD такъ вырѣзана, что изображаетъ рядъ равныхъ угловъ *a*, *a*, *a*, ипроч. Употребимъ попеременно двѣ силы Q и R, для движенія сей пилы взадъ и впередъ по тѣлу MN, между тѣмъ какъ третія сила, которая часто бываетъ только одинъ вѣсъ пилы, дѣйствуетъ въ перпендикулярномъ направленіи. Мы получимъ понятіе о *сложномъ клинѣ*, употребляемомъ для пиленія дерева, металловъ и множества другихъ веществъ.

Если желаютъ раздѣлить дерево или металлъ неподвижною полосою ABCD [фиг. 16], на которую дѣйствуетъ чрезвычайно большой вѣсъ, въ такомъ случаѣ вообще невозможно раздѣлить тѣло. Но суммою весьма умеренныхъ усилій, достигаютъ раздѣленія тѣла помощію движенія взадъ и впередъ, подобнаго движенію пилы.

Фигура исходящихъ угловъ *a*, *a*, *a*, называемыхъ *зубцами пилы*, не есть постоянна; она измѣняется по свойству и твердости разпиливаемыхъ веществъ.

Если должно пилить весьма твердое тѣло, то зубцы надлежитъ дѣлать малыми и слѣдовательно одни къ другимъ весьма близкими; напротивъ же при пиленіи тѣлъ нетакъ твердыхъ увеличиваютъ размѣръ зубцовъ, и часто, вмѣсто трехугольной фигуры даютъ имъ кривую фигуру, какъ видно въ фиг. 71.

Digitized by Google

Пила, употребляемая для пиленія камней и мрамора [фиг. 15], неимѣетъ зубцовъ искуственно приготовленныхъ. Она есть простая стальная полоса, которую двигаютъ взадъ и впередъ по куску, который перепилить должно. Вмѣсто зубьевъ пилы употребляютъ кремнистый песокъ, котораго острые ребра исполняютъ обязанность клиньевъ; при пиленіи гранита, песокъ замѣняютъ наждакомъ. Въ такомъ случаѣ полоса пилы, не имѣетъ надобности быть весьма твердою и можетъ быть желѣзною.

Пилы бываютъ не только прямыя, но также круглыя и различныхъ другихъ кривыхъ формъ.

Въ круглыхъ пилахъ [фиг. 18] окружность усажена зубцами, подобными: 1. зубцамъ пилы [фиг. 16] употребляемой для пиленія весьма твердыхъ тѣлъ; 2. зубцамъ пилы (фиг. 17) употребляемой для пиленія не твердыхъ тѣлъ. Выдѣлка круглыхъ пилъ требуетъ болѣе искуства въ закалкѣ употребляемыхъ металловъ; но здѣсь не мѣсто описывать сію работу. Малыя круглыя пилы дѣлаются обыкновенно изъ листа стали и насаживаются потомъ на желѣзную ось.

Продолговатая пила имѣетъ неудобство всѣхъ машинъ, которыхъ движенія попеременны. При каждомъ ходѣ пилы назадъ, время на сіе употребляемое, тѣряется для пиленія. Но въ движеніи круглой пилы, которая дѣйствуетъ непрерывно и всегда въ одну сторону нетѣряется ни минуты.

Дабы круглыя пилы производили самое выгоднѣйшее дѣйствіе, то скорость ихъ должна быть наибольшая. Тогда замѣчаютъ, чтобы легко и скоро

Digitized by Google

раздѣлить тѣло, то достаточно оное немного прижимать къ пилѣ. Употребляемыя круглыя пилы имѣютъ ось свою параллельною горизонтальной поверхности станка, въ которую она вдѣлывается, такъ что плоскость пилы будетъ перпендикулярна къ плоскости станка. Когда хотятъ сдѣлать брусокъ или призму, которой всѣ стороны между собою перпендикуляры, то устанавливаютъ дерево такъ, что одна сторона уже выструганная движется по плоскости станка, между тѣмъ какъ другая движется касательно къ бруску, утвержденному параллельно плоскости колеса, наприличномъ разстояніи. Очевидно, что двигая дерево, которое распилить должно, плоскость пилы сдѣлаетъ въ ономъ сѣченіе параллельное плоскости, упирающейся въ брусъ. Сдѣлавъ сію сторону, прикладываютъ ее къ брусу, почему она будетъ служить для вырѣзанія другой стороны. Такимъ образомъ достигаютъ образованія квадратныхъ или прямоугольныхъ брусковъ, данной толщины. Работа сія производится съ большею выгодою, когда выпиливаютъ большое число брусковъ одного размѣренія.

Въ морскихъ и артиллерійскихъ арсеналахъ и во всѣхъ большихъ мастерскихъ, можно сдѣлать весьма полѣзное употребленіе изъ круглыхъ пилъ, которыя въ большомъ употребленіи въ Англіи и разпространяются во Франціи.

Теперь мы скажемъ нѣсколько словъ о большихъ круглыхъ пилахъ, употребляемыхъ при распиленіи дерева на тонкія дощечки для наклейки. Вообра-

Digitized by Google

зите колесо имѣющее около 20 футъ въ діаметрѣ, составленное изъ весьма тонкихъ и весьма широкихъ радіусовъ, которые помѣрѣ приближенія ихъ къ окружности уменьшаютъ ширину свою. Окружность сія снабжена рядомъ дугъ, кои суть стальныя зубчатыя полосы, и которыя по непрерывности своей составляютъ круглую пилу. Сіе большое колесо приводится въ движеніе паровою машиною. Дерево, долженствуемое быть разпилено утверждается на тѣлежкѣ, которой поступательная скорость пропорціональна скорости колеса. Помѣрѣ обращенія сего колеса, она проникаетъ дерево, отъ котораго отдѣляетъ листъ, толщиною около 0,8 линіи. Листъ сей отдѣлившись, сгибается не много по выпуклой формѣ поверхности вращенія, составленной изъ металлическихъ листовъ или легкихъ досокъ, утвержденныхъ на радіусахъ колеса. Такимъ образомъ разпиливаютъ доски для наклейки, которыхъ широта бываетъ иногда до 4 футовъ. Прекраснѣйшая пила сего рода, придуманная Брюнелемъ, устроена въ его Батерзскихъ мастерскихъ, близь Лондона.

Есть множество инструментовъ, кои суть настоящія пилы; напримѣръ: серпы, косы, подпилки. Для навастриванія серповъ и косъ [фиг. 19 и 20] нарѣзываютъ окружность ихъ ABC рядомъ насѣчекъ, представляющихъ весьма близкія клинья, которыхъ острее составляетъ повсюду съ окружностію серпа или косы одинъ и тотъ же уголъ. Каждая соломина или травка, которая касается инструмента подрѣзывается на весьма малую глубину каждыми изъ зубцевъ, такимъ образомъ сдѣ-

Digitized by Google

ланныхъ. При быстромъ движеніи, сопротивленіе уменьшается до того, что растительныя стебли В перерѣзаются неломаясь; между тѣмъ какъ требовалось бы гораздо больше силы, чтобы перерѣзать ихъ движеніемъ перпендикулярнымъ къ ихъ оси. Здѣсь очевидно сходство между дѣйствіемъ косы, серпа и круглой пилы.

Дѣлаютъ сабли, которыя имѣютъ зубчатое острее. Сіе ужасное оружіе, свойственное только варварскимъ народамъ, можетъ произвести большое дѣйствіе. Сабли восточныхъ народовъ приводятся въ дѣйствіе по системѣ круглой пилы. Вмѣсто того, чтобъ поразить перпендикулярно къ острею, Азіатецъ держитъ саблю свою вытянувъ въ томъ направленіи, которое рука его должна пробѣжать, чтобъ достать предметъ. Каждая изъ точекъ острея идетъ впередъ и постепенно проходитъ чрезъ рану. Слѣдовательно каждая изъ неровностей острея дѣйствуетъ здѣсь какъ зубцы пилы. Также замѣчено что раны сего оружія бываютъ глубже и шире, чего нельзя сдѣлать поразивъ однимъ ударомъ, если заставимъ острее оружія углубляться перпендикулярно къ поверхности, которую разсѣчь должно.

Подпилки [фиг. 21 и 22], суть поверхности усаженныя мелкими ровными клиньями, обыкновенно помѣщаемыми крестообразно, то есть, нарѣзанные по наклоненіямъ, составляющимъ съ осью подпилка уголъ въ 45.° Если двигать взадъ и впередъ подпилокъ сей, то каждый изъ его клиньевъ проводитъ борозду на поверхности полируемаго тѣла; а множество сихъ ровныхъ бороздъ, доставляетъ

Digitized by Google

поверхности видъ непрерывности приличествуемой полированному тѣлу. При семъ употребляютъ подпилки съ меньшими и многочисленнѣйшими зубцами. Такимъ образомъ постепенно уменьшаютъ ширину и глубину бороздъ проведенныхъ на поверхности полируемаго тѣла; наконецъ оканчиваютъ тѣмъ, что борозды сіи дѣлаютъ многочисленными и столь глубокими, что ихъ вогнутость изчезаетъ отъ взоровъ нашихъ; тогда подпиливаемая поверхность представляется намъ совершенно гладкою. При семъ должно замѣтить, что никогда не должно подпиливать по одному направленію, а въ различныхъ, отъ чего борозды пересѣкаются и уничтожаются неровности ихъ.

Подпилки и терки, которыхъ зубцы не равно между собою отстоятъ и неимѣютъ равныхъ размѣреній, не могутъ подпиливать одинаково во всѣхъ частяхъ поверхности даннаго тѣла. Посему, должно соблюдать геометрическую точность при отдѣлкѣ подпилковъ и терекъ, если помощію оныхъ хотятъ достигнуть совершенной гладкости.

Карды также должно разсматривать какъ родъ подпилковъ, составленныхъ изъ отдѣльныхъ, весьма длинныхъ и параллельныхъ клиньевъ. Клинья сіи, какъ и зубцы подпилковъ располагаются крестообразно; но имѣютъ предметомъ не уничтоженіе неровностей поверхностей тѣлъ, а служатъ для вытягиванія волоконъ по опредѣленному направленію, для проникания въ неправильную ткань, образованную сими волокнами, для раздѣленія ихъ на тонкія нити, наконецъ, для вытягиванія ихъ дѣйствіемъ простаго давленія.

Digitized by Google

Драчки, употребляемыя для вытягиванія шерсти въ тканяхъ, дѣйствуютъ равномѣрно подобно клину. Тоже самое можно сказать и о скребницахъ, употребляемыхъ для чистки лошадей; онѣ состоятъ изъ ряда зубчатыхъ полосъ, разположенныхъ между собою параллельно и приводимыхъ въ движеніе одною общею силою. Къ сему же роду дѣйствія должно отнести гребни, употребляемые въ нашихъ прическахъ. Сахарныя терки [фиг. 25], щетки, метла, также дѣйствуютъ подобно пилѣ, равно какъ и тряпки, которыми вытираютъ мебель и оканчиваютъ полировку поверхностей.

Борона и грабли, употребляемыя для разровненія земли, дѣйствуютъ подобнымъ же образомъ. Я небуду продолжать далѣе изчислять инструменты сего рода.

Для полированія произведеній промышленности употребляютъ тѣла, которыхъ малѣйшія частицы естественно изображаютъ клинья, острые и весьма твердые. Посему то для полированія поверхностей употребляютъ пемзу и песчаникъ. Песчаникъ собственно употребляется для точенія орудій, и безчисленныя клинья, коими усѣяна его кристаллизированная поверхность служитъ для обдѣлки большихъ непрерывныхъ поверхностей острыхъ орудій. Есть жернова, которыхъ обдѣлывающая поверхность плоская; а у другихъ она круглая.

Жернова мельницъ служатъ нетолько для раздавливанія зеренъ, но для очищенія ихъ и приведенія въ молотье, дѣйствіемъ подобнымъ дѣйствію клиньевъ.

Digitized by Google

Разсмотрѣвъ призматическіе клинья, должно разсмотрѣть тѣ, которыхъ форма коническая или парамидальная: таковы суть пунсоны, гвозди, большое число оружій и инструменты, употребляемые въ военныхъ и гражданскихъ искуствахъ. Пусть требуется углубить пунсонъ или гвоздь, конической или пирамидальной формы [фиг. 24 и 25], въ тѣло сопротивляющееся сему углубленію? Если сопротивленіе пропорціонально подаванію назадъ каждой части сего тѣла и количеству точекъ, которыя должны отъ сего удалиться, можно доказать что усиліе необходимое для углубленія гвоздя или пунсона, пропорціонально моменту инерціи части углубляемаго пунсона или гвоздя, принимая моментъ сей въ отношеніи оси гвоздя или пунсона, разсматриваемаго какъ пирамиду или какъ клинъ.

Множество инструментовъ, употребляемыхъ промышленностію, относится къ пирамидальному или коническому клиньямъ; шила, шпаги, штыки, иголки, булавки, инструменты гравера, скульптора, и проч. Природа снабдила животныхъ различныхъ формъ клиньями, опредѣленными для нападенія или для защиты; таковы суть зубы, рога, когти, ипроч. Мы можемъ только упомянуть о сихъ безчисленныхъ приложеніяхъ.

Изъ различныхъ родовъ винта и клина дѣлаютъ весьма остроумныя соединенія. Помощію сихъ двухъ машинъ можно уравновѣсить весьма большое сопротивленіе, весьма малыми силами; соединя ихъ вмѣстѣ можно получить равновѣсіе силою гораздо меньшею относительно сопротивленія.

Digitized by Google

Нѣкоторыя изъ сихъ сложныхъ машинъ имѣютъ предметомъ своимъ проникать въ тѣло подобно гвоздю или пунсону, а другія разрѣзать оное. Вообразимъ весьма длинный коническій клинъ, коего ось согнута спиралью, то получимъ машину извѣстную подъ именемъ *пробочника* или *пыжевника*, поелику она имѣетъ предметомъ проникать пробку или пыжъ огнестрѣльнаго орудія.

Дабы въ семъ родѣ машинъ получить отношеніе силы къ сопротивленію, сперва должно замѣтить, что разсматривая оныя какъ винтъ, сила относится къ сопротивленію какъ окружность описанная сею силою относится къ широтѣ винта. Потомъ разсматривая острѣе штопора или пыжевника какъ пунсонъ: сила относится къ сопротивленію какъ длина сего клина, предполагаемаго выпрямленнымъ, относится къ площади его основанія умноженной на квадратъ радіуса сего основанія. Произведеніе найденныхъ нами двухъ отношеній есть отношеніе силы къ сопротивленію. Но должно замѣтить, что большая часть силы уничтожается трѣніемъ. Покрайнѣй мѣрѣ сила, несмотря на сіе уменьшеніе, остается еще гораздо болѣе чѣмъ сопротивленіе.

Второй родъ соединенія винта съ клиномъ гораздо важнѣе и имѣетъ употребленіе гораздо обширнѣе перваго: сюда относятся сверла, буравчика, и проч. [фиг. 26 и 27]. Представимъ себѣ, что прикрѣпленъ клинъ по длинѣ ребра цилиндра, которому сообщаютъ потомъ круговое движеніе.

Здѣсь можно принять, что клинъ сей при каждомъ мгновеніи побуждается силою, приложенною

Digitized by Google

къ его острею, которой дѣйствіе будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ уголъ клина относительно тѣла, которое разрѣзать должно, будетъ острѣе.

Теперь положимъ, что вмѣсто прямолинейнаго ребра оно будетъ обвито спиралью. Тогда острѣе клина вмѣсто того чтобы разрѣзывать тѣло перпендикулярно къ движенію ему впечатлѣваемому, будетъ разрѣзать его косвенно; оно произведетъ дѣйствіе прямаго клина, направляемаго наклонно. Здѣсь очевидно, что сила будетъ тѣмъ болѣе, относительно сопротивленія, чѣмъ спираль его острѣя будетъ дѣлать большій уголъ съ ребромъ цилиндра, по которому она идетъ. Также, если хотятъ чтобъ буравчикъ производилъ болѣе силы, стараются острѣе его въ одно время сдѣлать болѣе острымъ и образующимъ большій уголъ съ ребромъ цилиндра, служащимъ осью инструмента.

Сверла и буравчики имѣютъ довольно значительное, пустое пространство между промежутками винтовыхъ нарѣзокъ. По мѣрѣ ввертыванія инструмента въ тѣло, которое просверлить должно, онъ отдѣляетъ стружки, которыя принимаютъ спиральную форму и идутъ по пустотѣ между винтовыми нарѣзками. Однако, должно замѣтить что стружки сіи занимаютъ только часть всего цилиндра вырѣзываемаго сверломъ или буравчикомъ; стружки сіи, помѣрѣ сверленія должны или сжиматься или вытягиваться. Сіе сжиманіе вредитъ дѣйствію инструмента. Для возпрепятствованія чтобы оно время отъ времени несдѣлалось весьма значительнымъ, вынимаютъ

Digitized by Google

сверло или буравъ, дабы снять сіи стружки и съ большею легкостію снова начать сверленіе.

Стефанъ Присъ, сдѣлалъ весьма остроумное приложеніе винта и клина, въ такъ называемой *стригольной* машинѣ, поелику она служитъ для стрижки суконъ. Машина сія, привезенная во Францію Гг. Пунардъ ,была улучшена Жаномъ Колье. Вообразите острее подобное бритвѣ, обвитое весьма длинною спиралью около сквознаго цилиндра. Касательно къ цилиндру, описываемому острѣемъ спиральныхъ полосъ находится неподвижная полоса, прямая и параллельная оси сего цилиндра. Ниже сей полосы, на такое разстояніе что только можетъ пройти сукно, находится подпорка также параллельная неподвижной полосѣ и оси цилиндра. Сукно, хорошо натянутое однимъ концемъ навивается на новой, а другимъ развивается съ верхней стороны особеннаго цилиндра. По мѣрѣ того какъ сукно проходитъ между подпоркою и неподвижною полосою, оно встрѣчаетъ спиральную полосу, которая двигаясь своею косвенною стороною по длинѣ неподвижной полосы, рѣжетъ выдающіяся волоса сего сукна. Когда спираль уже пробѣжитъ почти всю ширину сукна, то другая спираль начинаетъ стричь оное, по которой движеніе должно быть не такъ быстро какъ первой.

Digitized by Google

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ.

О тренiи въ машинахъ.

Если бы тѣла были совершенно гладки, тогда бы они могли скользить одни по другимъ, не претерпѣвая ни малѣйшаго сопротивленiя отъ дѣйствiя ихъ прикосновенiя. Тогда всѣ отношенiя столь простыя и столь удобныя, которыя существуютъ между силою и сопротивленiемъ, имѣли бы мѣсто безъ всякаго измѣненiя для каждаго рода описанныхъ нами машинъ. Но поверхность тѣлъ неимѣетъ сей совершенной гладкости, которую мы только воображаемъ, и которая допускаетъ что тѣла могутъ двигаться одни по другимъ такъ что неровности ихъ поверхности неоказываютъ сопротивленiя ихъ движенiю. Сей родъ сопротивленiя называется *тренiемъ*.

Посему чтобы знать настоящее дѣйствiе силъ, приложенныхъ къ машинамъ, должно умѣть опредѣлять величину тренiй, потомъ придать сiе новое сопротивленiе ко всѣмъ тѣмъ, которыхъ относительную величину опредѣлила теорiя.

Физика и Геометры по очереди старались теорiею и практикою опредѣлить законы сего тренiя; Амонтонъ, Мушенброкъ, Камусъ и Боссю, попеременно занимались рѣшенiемъ сей важной задачи. Но знаменитому Куломбу было предоставлено дополнить сдѣланныя ими по сему предмету изысканiя, весьма остроумными опытами и выводами

Digitized by Google

слѣдствій, сдѣланныхъ со всею прозорливостію ума высокаго.

Должно убѣждать людей, которыя намѣреваются усовершенствовать промышленныя художества, брать за образецъ труды Куломба въ теоріи простыхъ машинъ, обращая вниманіе на треніе твердыхъ частей и жесткость веревокъ. Они увидятъ, что помощію хорошаго направленія, даннаго ряду опытовъ, которые предпринять намѣреваются, можно дойти до основаній, содѣлывающихъ изчисленія легкими и простыми, чего бы общая теорія никогда немогла достигнуть безъ помощи опытовъ.

Прежде нежели начнемъ испытывать дѣйствіе двухъ плоскостей, скользящихъ одна по другой, разсмотримъ тѣло положенное на плоскость немного наклоненную. По теоріи наклоненной плоскости, тѣло долженствующее низходить отъ дѣйствія тяжести съ ускорительною скоростію, которая относится къ ускорительной скорости свободно падающаго тѣла по вертикальной линіи, какъ высота наклоненной плоскости къ ея основанію. Однако случается, что тѣло сіе остается въ покоѣ. Мы ежедневно видимъ, что бумага, книги, перья, чернилицы, лежатъ на наклонныхъ плоскостяхъ конторокъ, не скольза по длинѣ сихъ плоскостей. Очевидно, что въ такомъ случаѣ сопротивленіе тренія превозмогаетъ силу тяжести. Если же плоскость, на которой тѣло удерживается треніемъ въ покоѣ, станемъ болѣе и болѣе наклонять, то достигнемъ положенія, въ которомъ тѣло начнетъ двигаться: положенія, въ которомъ

Digitized by Google

тяжесть тѣла начнетъ превозмогать сопротивленіе тренія.

Посему способъ сей можно употреблять для опредѣленія степени тренія, производимаго различнаго свойства тѣлами, при взаимномъ движеніи оныхъ. Изъ наблюденій сихъ выведутъ весьма вѣрныя слѣдствія.

Напримѣръ, должно болѣе наклонять наклоненную плоскость, чтобы тѣло непосредственно на оной нѣсколько времени лежащее получило движеніе по сей плоскости. Слѣдовательно, когда тѣло остается нѣкоторое время на матеріальной плоскости, оно пріобрѣтаетъ родъ сцѣпленія, представляющаго излишекъ препятствій, которыя преодолѣть должно.

Мы предпочитаемъ ходу сему тотъ, которому слѣдовалъ Куломбъ. Вотъ приборъ его.

На твердомъ станкѣ [фиг. 1] укрѣплены двѣ доски MM, MM, параллельно и одна къ другой весьма близко. Доски сіи съ обѣихъ сторонъ превосходятъ длину станка. Между выдающимися оконечностями съ одного края оныхъ находится колесо блока R, коего ось лежитъ на сихъ доскахъ. Выдающіяся оконечности съ другаго края имѣютъ горизонтальной воротъ TT. На двухъ доскахъ MM, кладется совершенно гладкая, крѣпкая и широкая доска PP. По сей то доскѣ PP скользятъ тѣла, которыхъ желаютъ опредѣлить сопротивленіе къ движенію производимое треніемъ. Тѣла сіи суть дощечки [фиг. 3], имѣющія съ противоположныхъ концевъ по крючку C, C, изъ коихъ одинъ служитъ для привязыванія веревки, на-

Digitized by Google

вивающейся на валъ ворота [фиг. 21]: есть сторона дѣйствія силы; другой служитъ для прикрѣпленія веревки, проходящей чрезъ выемку колеса блока. Къ веревкѣ сей привязывается то дощечка B [фиг. 1], накоторую кладутъ произвольныя тяжести, для измѣненія силы, то рычагъ L [фиг. 2] дѣйствующій на сію веревку, помощію тяжести, какъ плечо безмѣна.

Куломбъ начиналъ класть на доску опыта попорядку санки фиг. 3, или 4, или 5, или 6, которыя должны скользить по сей доскѣ и оставлялъ ихъ на нѣкоторое время въ покоѣ.

Санки [фиг. 3] и доска первоначально употребленныя была изъ дуба. Въ семъ случаѣ оказывалось, что оставляя санки въ покоѣ секунду, двѣ, три, и проч., раже до 10 секундъ, для приведенія ихъ въ движеніе должно было употреблять гораздо болѣе силы. Но сила, которую должно употребить въ концѣ одной минуты, дабы санки начали двигаться, то есть, отношеніе силы давленія къ силѣ сопротивленія измѣнялось только между 221 : 100 и 246 : 100, хотя давленіе измѣнялось отъ 90 до 3000 фунтовъ.

Дабы получить дѣйствіе, которое можетъ производить болѣе или менѣе обширная трущаяся поверхность, подъ санками прикрѣплены были два брусочка T, T' [фиг. 4]. Сіи брусочки, скругленыя цилиндрически въ части касающейся опытной доски, производили поверхность тренія весьма малой ширины. Направленіе брусочковъ было параллельно направленію движенія санокъ. Здѣсь, между силою и сопротивленіемъ не оказывалось никакой

Digitized by Google

разности, приводились ли санки въ движеніе тотчасъ по положеніи ихъ на опытную доску или по прошествіи нѣкотораго времени.

При давленіяхъ, измѣняемыхъ отъ 977 до 3175 фунтовъ на $10\frac{3}{4}$ квадр. футахъ, отношеніе давленія къ силѣ, потребной для преодоленія тренія, измѣнялось только между 236 : 100 и 240 : 100. Таковое отношеніе почти можно принять за постоянное. Замѣтимъ притомъ, что оно было бы примѣтно равно предѣлу высшаго отношенія давленій къ треніямъ, если бы санки касались опытной доски всею поверхностію основанія. Если въ обоихъ случаяхъ взять среднія величины различныхъ опытовъ, то разность не достигаетъ и тридцать одной доли.

При малыхъ давленіяхъ примѣчается довольно большая разность; но помѣрѣ увеличиванія тяжестей несходство изчезаетъ и отношеніе давленія къ сопротивленію тренія дѣлается почти постояннымъ, каковой бы обширности ни была поверхность прикосновенія.

Испытавъ треніе дуба о дубъ, разсматривалось треніе сосны о дубъ, замѣняя дубовые брусочки подъ санками сосновыми.

При движеніи санокъ, послѣ весьма малаго времени покоя, сопротивленіе тренія было возможно меньшее; но по прошествіи только десяти секундъ, сопротивленіе дѣлалось столь великимъ какъ и послѣ цѣлаго часа.

Когда сопротивленіе тренія отъ дѣйствія весьма большой тяжести достигало своего относительнаго предѣла, то отношеніе давленія къ се-

Digitized by Google

му сопротивленію содѣлывалось отношеніемъ 150 : 100.

Къ опытной доскѣ прикрѣплялись двѣ рейки, по которымъ скользили санки, употребляемыя въ ряду описанныхъ нами опытовъ. Заставляя такимъ образомъ скользить сосну о сосну, всегда находили, что наименьшее сопротивленіе тренія было при движеніи санокъ тотчасъ по положеніи ихъ на опытную доску; но по прошествіи десяти секундъ, сопротивленіе было столь велико какъ и попрошествіи часа. Здѣсь отношеніе давленій къ треніямъ измѣнялось отъ 185 : 100 для малаго давленія, до 177 : 100 для большаго давленія.

Наконецъ испытывалось треніе вяза о вязъ, помощію брусочковъ придѣлываемыхъ подъ санками. Вязъ, который при прикосновеніи, говоритъ Куломбъ, кажется мягкимъ и пушистымъ, зацѣпляется медленнѣе другихъ деревъ. Увеличиваніе тренія было чувствительно въ продолженіе многихъ секундъ, и достигало своего большаго предѣла, отъ давленія $53\frac{3}{4}$ фунтовъ только по прошествіи одной минуты покоя. Отъ давленія, которое Физикъ сей измѣнялъ отъ $53\frac{3}{4}$ до $2027\frac{1}{2}$ фунтовъ, онъ нашелъ для отношеній давленія къ сопротивленію тренія 214 : 100 и 218 : 100, которыхъ разность столь слаба, что во всѣхъ результатахъ практики ихъ можно принимать за тождественныя.

Теперь представимъ изъ той же точки зрѣнія среднія отношенія, выведенныя изъ предыдущихъ опытовъ, между вѣсомъ санокъ и обремѣняющею

Digitized by Google

ихъ тяжестію, и сопротивленіемъ тренія, производимаго симъ вѣсомъ. При тренiи.

дуба о дубъ . . . 234 : 100
дуба о сосну . . . 150 : 100
сосны о сосну . . 178 : 100
вяза о вязъ . . . 218 : 100

Во всѣхъ описанныхъ нами опытахъ дерево скользило о дерево, по направленію волоконъ онаго. Въ послѣдующихъ же опытахъ волокна брусочковъ Т, Т, направлялись перпендикулярно къ волокнамъ опытной доски [фиг. 5]. Тогда оказалось, что должно пройти гораздо болѣе времени покоя дабы сопротивленіе тренія достигло своего большаго предѣла. Наконецъ нашли, что для давленій отъ 61 до 2015$\frac{1}{3}$ фунтовъ, давленіе сіе при тренiи дуба о дубъ оставалось въ отношеніи почти постояннымъ съ сопротивленіемъ тренія, когда волокна дерева касались поперегъ, сіе давленіе было

385 : 100 для малыхъ давленій
367 : 100 для большихъ давленій.

Во всякомъ случаѣ гораздо выгоднѣе, чтобъ волокна соприкосновенныхъ частей дерева направлялись подъ прямымъ угломъ, нежели по самому направленію оныхъ.

При тренiи металла о дерево [иг. 6], надлежитъ пройти гораздо болѣе времени, чтобы сопротивленіе тренія достигло своего большаго предѣла. Здѣсь потребно покрайней четыре или пять часовъ времени, вмѣсто одной минуты, достаточной при тренiи дерева и дерево, чтобы сопротивленіе не казалось болѣе, время отъ времени увеличивающимся. Надлежитъ гораздо болѣе време-

Digitized by Google

ни, дабы таковое сопротивленіе совершенно перестало увеличиваться.

По прошествіи четырехъ дней покоя, для давленій измѣняющихся отъ 63 до 2013 фунтовъ, отношеніе давленій къ сопротивленію тренія измѣнялось отъ 530 : 100 до 486 : 100

Мѣдь даетъ подобные же результаты, какъ для времени, въ которое сопротивленіе тренія достигаетъ своего большаго предѣла, такъ и для отношенія давленія къ сему сопротивленію, которое есть 500 : 100.

Испытавъ треніе металловъ о дерево, прикрѣпляли къ опытной доскѣ [фиг. 7] желѣзные брусочки, выпрямленные и полированные съ величайшимъ тщаніемъ, по которымъ скользили другіе желѣзные брусочки утвержденные подъ санками.

Здѣсь, съ перваго мгновенія треніе оказываетъ все сопротивленіе, къ которому оно способно.

	для давленій отъ	давленія,	сопротивленіе	тренія
Желѣза о желѣзо	61 фунтъ	::	340 :	100
	560 ———	::	363 :	100

Итакъ, здѣсь сопротивленіе тренія можно принять почти пропорціональнымъ давленію.

Равнымъ образомъ для тренія желѣза о желтую мѣдь: *отношеніе давленій къ сопротивленію тренія, для давленія отъ*

желѣза о желтую мѣдь	61 фунт:	*есть*	360 : 100
	560 ———		400 : 100

При треніи желѣза о желтую мѣдь, проведя поверхность прикосновенія къ возможно меньшимъ размѣреніямъ, напримѣръ, замѣнивъ желѣзные бруски подъ санками четырью мѣдными съ закруглен-

Digitized by Google

ными шляпками гвоздями, которыя скользятъ по желѣзнымъ полосамъ, получимъ для равновѣсія, при давленіяхъ

	давл.	сопрот. тренія.
отъ	105 фунт.	590 : 100
	794 ———	600 : 100

Опытъ сей содѣлался предметомъ важнаго примѣчанія. Въ первые разы движенія санокъ съ мѣдными гвоздями по желѣзнымъ полосамъ, отношеніе было 500 : 100. Но по прошествіи нѣкотораго числа разъ, желѣзо и мѣдь полируясь отъ безпрестаннаго движенія, отношеніе сіе содѣлывалось 600 : 100. Слѣдовательно сопротивленіе тренія уменьшилось. Итакъ, камни, порошки, и всѣ инструменты, употребляемые при полировкѣ, неправильно только сгибаютъ и ломаютъ неровности тѣлъ; но неровности сіи изчезаютъ отъ употребленія, при большихъ давленіяхъ и отъ быстраго движенія машинъ.

Во многихъ художествахъ, для уменьшенія сопротивленія тренія двухъ трущихся поверхностей кладутъ между ими жирныя тѣла. Масло, сало и всѣ другія жирныя вещества, вообще для сего употребляются: весьма важно знать сколь много подмазки сіи могутъ уменьшить треніе. Куломбъ въ своихъ опытахъ употреблялъ самое чистое сало.

Помощію сихъ подмазокъ, сопротивленіе достигаетъ своего большаго предѣла только по прошествіи весьма большаго времени. Послѣ пяти или шести дней, сіе сопротивленіе можетъ сдѣлаться въ 14 разъ болѣе того, которое произошло въ первую минуту, если поверхность прикосновенія

Digitized by Google

будетъ значительна въ отношеніи давленія; но когда она нетакъ обширна, то отношеніе давленій къ сопротивленіямъ быстро достигаетъ своего большаго предѣла.

Въ предыдущихъ опытахъ подмазка употреблялась свѣжая; въ послѣдующихъ же она служила уже восемъ дней. Она содѣлывалась весьма гладкою, но менѣе жирною нежели въ началѣ. Здѣсь найдено, что продолженіе покоя не перестаетъ имѣть большаго вліянія на сопротивленіе тренія. Сверхъ того замѣчено, что при равномъ времени покоя, подмазка сія менѣе представляла сопротивленія, чѣмъ свѣже употребленная.

Куломбъ послѣ прикрѣплялъ подъ санками мѣдныя линейки, которыя скользили по желѣзнымъ линейкамъ утвержденнымъ къ опытной доскѣ, смазывая ихъ чистымъ саломъ въ 4 линіи толстотою. Тогда сопротивленіе тренія возрастало только въ первыя мгновенія покоя; но, по прошествіи весьма короткаго времени оно достигало своего большаго предѣла.

Если пренебрѣчь сцѣпленіе двухъ касающихся поверхностей, которое есть количество постоянное, находятъ что заставивъ санки непосредственно двигаться, то сопротивленіе тренія пропорціонально давленіямъ, въ отношеніи 100 : 1,110. Дѣйствіе сцѣпленія содѣлавшись не чувствительнымъ для сихъ сильныхъ тяжестей, очевидно что тогда подмазка доставляетъ большую выгоду; ибо безъ подмазки простое давленіе 1465 фунтовъ производило 244 фунта сопротивленія; между тѣмъ при подмазкѣ изъ сала, потребно 271 1½ фунтовъ

давленія чтобы произвести 244 фунта сопротивленія тренія. Наконецъ, когда поверхности смажутся саломъ, то отношеніе давленій къ сопротивленіямъ тренія неизмѣняется, какъ бы сіи касающіяся поверхности ни были обширны, если бы только онѣ не были относительно давленія несоразмѣрной величины. Напослѣдокъ, сіе давленіе можетъ быть столь мало сколь угодно, не измѣняя чрезъ то отношенія

Если заставить станки двигаться въ то мгновеніе, когда сопротивленіе тренія достигло своего большаго предѣла, то непринимая въ разсужденіе сцѣпленія, найдемъ отношенія,

910 : 100 при малыхъ давленіяхъ,

990 : 100 при большихъ давленіяхъ.

Замѣнивъ сало масломъ, сопротивленіе тренія почти достигаетъ своего большаго предѣла въ первыя мгновенія; оно равно $\frac{1}{6}$ давленія. Сіе сопротивленіе при употребленіи стараго сала дѣлается отъ шестой до седьмой части.

Посему для мѣди и желѣза наивыгоднѣйшая подмазка есть свѣжее сало.

Недостаточно знать силу потребную для преодоленія одного сопротивленія движенію тѣла, находящагося въ покоѣ на поверхности. Надобно знать какъ измѣняется сіе сопротивленіе, когда сообщать тѣлу гораздо большую скорость: употребляемый при семъ приборъ былъ тотъ же, только рычагъ [фиг. 2.], служащій для сообщенія тѣлу первой степени движенія, замѣнялся веревкою и дощечкою (фиг. 1), обремененною тяжестію, помощію которой можно сообщить тѣ-

Digitized by Google

лу гораздо быстрѣйшую скорость. Треніе производилось безъ подмазки. Санки движущіяся по доскѣ, были постепенно обремѣняемы тяжестями, способными для сообщенія имъ большихъ скоростей.

Когда санки были уже поставлены на доску и обремѣнены тяжестію, которой желали знать дѣйствіе, то на доску клали постепенно различныя тяжести; санки же, то покалачивали слабыми ударами молотка, то толкали ихъ помощію рычага. На одномъ изъ продольныхъ краевъ доски находилось весьма вѣрное градусное дѣленіе, такъ что конецъ санокъ пробѣгая сіе раздѣленіе означалъ перейденныя пространства. Наконецъ продолженіе времени движеній узнавалось помощію маятника, совершаемаго качаніе свое въ полъ-секунды.

Сначала замѣчали силу нужную для приведенія санокъ въ движеніе; потомъ употребляли среднюю силу, наконецъ большую. Замѣчали время, которое нужно чтобъ санки пробѣжали два пространства въ $52\frac{1}{2}$ дюйма.

Вообще замѣчено, что время употребляемое санками для пробѣжанія перваго пространства, было не много болѣе двойнаго времени, употребляемаго для пробѣжанія втораго. Но тѣло, приведенное въ движеніе постоянною ускорительною силою и пробѣгающее два послѣдовательно равныя пространства, употребляетъ для сего времена, которыя между собою относятся какъ $\sqrt{10,000} : \sqrt{20,000} = 100 : 142$. Посему, санки употребляютъ 100 единицъ времени для пробѣжанія первой части пространства и 142 единицы для пробѣжанія обѣихъ

Digitized by Google

частей онаго, слѣдовательно вторая часть требуетъ только 42 единицы времени.

Итакъ, движеніе санокъ, побуждаемыхъ постоянною ускорительною силою, какова тяжесть, есть единообразно ускорительное; сіе требуетъ чтобъ сопротивленія тренія уничтожались въ каждое мгновеніе пропорціонально силѣ сложенной съ тяжестію. Посему, *сопротивленіе тренія есть постоянное количество, какова бы нибыла скорость касающихся тѣлъ.*

Однако, при весьма обширныхъ поверхностяхъ прикосновенія, треніе со скоростями чувствительно увеличивается. Напротивъ, когда касающіяся поверхности весьма малы, то треніе со скоростями немного уменьшается. Но сіи небольшія неправильности чрезвычайныхъ случаевъ, непрепятствуетъ выводамъ, представленнымъ нами для большой части случаевъ представляющихся въ практикѣ.

Довольно простыми вычисленіями, но которыя весьма длинны дабы ихъ здѣсь повторить, Куломбъ опредѣлилъ отношеніе давленій къ треніямъ въ шести опытахъ, такимъ образомъ, что скорости превозмогали наибольшія давленія, производимыя въ практикѣ.

Треніе поверхности въ 520 квадратныхъ дюймовъ, обремѣненной:

Опыты	*давленіе*	*отношеніе*
1	61 фунтъ . . .	5,7.
2	459 — — . . .	9,4.
3	710 — — . . .	9,5.
4	2015 — — . . .	9,4.

Digitized by Google

5 . . . . 4367 —— . . . 9,2.
6 . . . . 15993 —— . . . 10,4.

Въ сихъ опытахъ, направленіе волоконъ дуба санокъ было въ одномъ направленіи съ волокнами дерева опытной доски. Потомъ направленія ихъ дѣлали взаимно перпендикулярными. Тогда нашли, что отношеніе давленія къ тренію болѣе не измѣнялось, хотябы касающіяся поверхности были велики, или бы приведены были къ весьма узкимъ полосамъ, какъ острее тупыхъ ножей. Куломбъ изъясняетъ различіе сіе весьма замысловато, слѣдующимъ образомъ: „Когда линейки срѣзанныя клиномъ и прикрѣпленныя подъ санками скользятъ по направленію волоконъ дерева, то каждая точка опытной доски, достигнутая оконечностію линеекъ, остается потомъ сжатою во все продолженіе времени, употребляемое санками для пробѣжанія длины ихъ; поелику санки имѣли 2 дюйма длины и если скорость движенія есть напримѣръ 2 дюйма въ секунду, то каждая точка будетъ сжата въ продолженіе 2 секундъ. Итакъ, хотя неровности поверхностей, по причинѣ взаимнаго ихъ сцѣпленія, противополагаютъ нѣкоторое сопротивленіе перемѣнѣ фигуры, которую заставляетъ принять ихъ сжиманіе, то сіе время 2 секунды достаточно чтобы измѣнить и сжать часть сихъ поверхностей. Слѣдовательно, когда санки подпертыя скругленными брусками, будутъ скользить по направленію волоконъ дерева, то треніе будетъ пропорціонально менѣе при большихъ давленіяхъ чѣмъ при меньшихъ. Но когда линейки срѣзанныя клиномъ положатся поперегъ санокъ,

Digitized by Google

то при движеніи оныхъ каждая точка доски остается сжатою только во время прохожденія угла. Время сіе нестоль продолжительно чтобъ неровности поверхностей чувствительно подавались; посему треніе должно быть здѣсь тоже что и въ случаѣ гдѣ поверхности имѣютъ ограниченное пространство. Въ самомъ дѣлѣ, въ томъ и другомъ случаѣ неровности измѣняя фигуру на количество весьма нечувствительное, должны свободно проходить между собою."

Всѣ представленные нами опыты относятся къ тренію дуба о дубъ. При треніи пихты о пихту, вяза о вязъ. находятъ отношеніе давленія къ тренію:

Пихты объ пихту	6 : 1.
Вяза объ вязъ	10 : 1.

Дѣйствіе дерева на металлы производится совершенно инымъ образомъ чѣмъ дерева на дерево.

Сначала утверждали подъ санками желѣзныя линейки, которыя скользили по дубовой опытной доскѣ. При нечувствительныхъ скоростяхъ замѣтили, что каково бы небыло давленіе, треніе почти равно трети сего давленія. Также найдено, что давленіе санокъ относится къ силѣ, заставляющей ихъ пробѣгать въ секунду одинъ футъ, какъ 6 : 1.

Что касается до малыхъ поверхностей прикосновенія, то при увеличиваніи скоростей сія большая разность отношенія имѣетъ мѣсто только при деревянныхъ вѣщахъ, выходящихъ изъ рукъ работниковъ. По прошествіи многихъ часовъ тренія, скорость почти совершенно перестаетъ имѣть на него вліяніе.

Digitized by Google

Въ ряду представленныхъ нами опытовъ, касающіяся части тѣлъ были смазываемы подмазкою. Единственная мазь, приличествующая для уменьшенія тренія дерева есть сало; масло можетъ быть употребляемо только при металлахъ. Подмазки потому уменьшаютъ треніе поверхностей, что будучи тѣлами мягкими, онѣ замѣщаютъ выемки и находясь между поверхностями, удерживаютъ ихъ въ нѣкоторомъ одну отъ другой разстояніи. Вотъ почему при большихъ давленіяхъ самыя мягкія подмазки суть самыя худшія. Когда поверхности прикосновенія приведены къ округленымъ угламъ, то подмазки весьма мало уменьшаютъ треніе санокъ. Когда санки, имѣющія большую поверхность прикосновенія, прошли два или три раза по одному и тому же салу, то замѣчаютъ, что сало прилѣпляясь къ доскѣ проникаетъ поры дерева и весьма несовершенно препятствуетъ зацѣпанію частицъ. Такимъ образомъ нашли во многихъ опытахъ, повторяемыхъ безъ возобновленія подмазки, что сопротивленіе тренія весьма значительно увеличивалось. Прежде нежели начнемъ описывать опыты, въ которыхъ при каждомъ дѣйствіи смазывали дерево, мы должны сказать о причинѣ приводящей выводы часто въ большую сомнительность.

Когда доски и санки выходятъ изъ рукъ работника, то не взирая на все стараніе содѣлать поверхности ихъ гладкими, помощію полированія замѣчаютъ что при смазкѣ поверхностей онѣ производятъ большія неправильности въ треніи. Сіи неправильности будутъ тѣмъ примѣчательнѣе, чѣмъ

Digitized by Google

поверхности будутъ обширнѣе а давленія менѣе; они по мѣрѣ возрастанія скоростей весьма чувствительно увеличиваютъ треніе. Измѣненія сіи слѣдуютъ нѣкоторому закону, котораго причину неможетъ изъяснить никакая теорія. Но если подмажемъ санки, которыя потомъ будутъ двигаться въ продолженіи многихъ послѣдовательныхъ дней, при сильныхъ тяжестяхъ, находятъ что треніе почти всегда пропорціонально давленію: увеличиваніе скоростей весьма нечувствительно увеличиваетъ отношеніе.

Для опредѣленія дѣйствія подмазки изъ сала, возобновляемой при каждомъ опытѣ тренія дуба о дубъ, служили санки, употребляемыя уже восемъ дней для опытовъ тренія. Съ подмазкою изъ сала, часто возобновляемою, произведено было болѣе двухъ сотъ опытовъ, при давленіяхъ многихъ центнеровъ на $15\frac{1}{2}$ квадр. дюймовъ.

Въ 50 первыхъ опытахъ оказалось много неправильности, но другіе были менѣе перемѣнны и санки равно какъ и опытная доска казались достигшими всей той гладкости, къ которой можетъ быть способенъ дубъ. Вотъ выводъ шести опытовъ, произведенныхъ на поверхность прикосновенія имѣющую $1\frac{2}{3}$ квад. футъ.

1 опытъ. $\frac{\text{Давленіе}}{\text{треніе}} = \frac{3250}{115} = 27{,}6.$

2 — — $= \frac{1650}{64} = 25{,}8.$

3 опытъ. $\frac{\text{Давленіе}}{\text{треніе}} = \frac{850}{36} = 25{,}6.$

Digitized by Google

4 — — $= \frac{450}{21} = 21,5.$

5 — — $= \frac{250}{13,5} = 18,5.$

6 — — $= \frac{50}{6,5} = 7,7.$

Здѣсь выводъ зависитъ отъ двухъ причинъ; одна есть постоянное сопротивленіе, произшедшее отъ сцѣпленія частицъ сала и протяженія поверхностей; другая только произходитъ отъ тренія. Отбросивъ сіе постоянное количество, получимъ:

1 опытъ. $\frac{\text{Давленіе}}{\text{треніе}} = \frac{3250}{135} = 28,7.$

2 — — $= \frac{1650}{59} = 27,9.$

3 — — $= \frac{850}{31} = 27,4.$

4 — — $= \frac{450}{16} = 28,1.$

5 — — $= \frac{250}{8,5} = 29,4.$

6 — — $= \frac{50}{1,75} = 28,6.$

Показанныя нами подробности достаточно показываютъ смыслъ опытовъ Куломба, постепенно производимыхъ имъ надъ треніемъ дерева о дерево, потомъ дерева о металлы и наконецъ металловъ объ металлы, при помощи подмазки. Отъ сего произходитъ:

1. Треніе дерева, скользящаго по дереву безъ подмазки, противолагаетъ, послѣ достаточнаго времени покоя, сопротивленіе пропорціональное да-

Digitized by Google

вленіямъ: сіе сопротивленіе въ первыя мгновенія покоя чувствительно увеличивается; но вообще, по прошествіи нѣсколькихъ минутъ оно достигаетъ своего большаго предѣла.

2. Когда дерево скользитъ по дереву безъ подмазки, то треніе еще бываетъ пропорціонально давленіямъ; но сила его гораздо менѣе сопротивленія, ощущаемаго при усиліи, произведенномъ для сдвинутія поверхностей послѣ нѣсколькихъ минутъ покоя. Находятъ, напримѣръ, что сила потребная для сдвинутія и движенія двухъ дубовыхъ поверхностей, послѣ нѣсколькихъ минутъ покоя, относится къ силѣ, необходимой для преодоленія простаго тренія, когда уже поверхности достигли степени какой либо скорости, какъ 95 : 22,2; или 100 : 23.

3. Треніе металловъ, скользящихъ по металламъ безъ подмазки, равнымъ образомъ пропорціонально давленіямъ, но напряженіе его одинаково, какъ для сдвинутія поверхностей послѣ какого нибудь времени покоя, такъ и для поддержанія какой либо единообразной скорости.

4. Разнородныя поверхности, каковы дерево и металлы, скользя другъ о друга безъ подмазки, даютъ для тренія ихъ выводы весьма различныя отъ предыдущихъ; ибо напряженіе тренія ихъ въ разсужденіи времени покоя, возрастаетъ медленно и достигаетъ своего предѣла только по прошествіи четырехъ или пяти дней, а иногда болѣе. Но при металлахъ оно тотчасъ онаго достигаетъ, а при деревѣ въ нѣсколько минутъ. Сіе возрастаніе столь же медленно какъ и сопротивленіе тре-

Digitized by Google

нія, при нечувствительныхъ скоростяхъ, почти равно сопротивленію, превозмогаемому при сдвинутіи поверхностей послѣ трехъ или четырехъ секундъ покоя. Это еще не все: при деревѣ скользящемъ по дереву безъ подмазки и при металлахъ, скользящихъ по металламъ же, скорость имѣетъ весьма небольшое вліяніе на треніе. Но здѣсь, треніе возрастаетъ весьма чувствительно, помѣрѣ увеличенія скоростей. Когда скорости возрастаютъ въ прогресіи геометрической, то треніе возрастаетъ почти въ ариѳметической прогресіи. Вотъ теперь теорія Куломба.

Треніе происходитъ отъ зацѣпанія поверхностей. Сцѣпленіе должно имѣть весьма малое вліяніе: поелику находимъ, что треніе почти во всѣхъ случаяхъ пропорціонально давленіямъ и независимо отъ протяженія поверхностей: сцѣпленіе же дѣйствуетъ по числу точекъ прикосновенія, или по протяженію поверхностей. Однакожъ мы находимъ что сіе сцѣпленіе не совершенно равно нулю и должны стараться опредѣлить его въ различныхъ родахъ предшествующихъ опытовъ. Мы нашли его около $19\frac{1}{2}$ фунтовъ на 11 квадр. футовъ, при дубовыхъ поверхностяхъ безъ подмазки; но въ практикѣ, происходящее отъ сего сцѣпленія сопротивленіе можетъ быть пренебрѣжено, когда каждые 11 квадратныхъ футовъ обремѣняются многими тысячами фунтовъ.

Въ описанныхъ нами опытахъ поверхности небыли смазываемы никакою подмазкою; посему, измѣненіе явленій должно отнести только къ существенному различію естества частей соста-

Digitized by Google

вляющихъ дерево и металлы: дерево состоитъ изъ продольныхъ волоконъ, частей гибкихъ и упругихъ; напротивъ же металлы, состоятъ изъ частей угловатыхъ, шаровидныхъ, твердыхъ и негибкихъ; такъ что никакая степень давленія или влеченія неможетъ измѣнить фигуры частей, коими усажены металлы; между тѣмъ какъ волокна составляющія дерево, могутъ легко гнуться по всѣмъ направленіямъ.

Итакъ, дабы воспользоваться простымъ сравненіемъ, мы примемъ что волокна коими покрыты поверхности дерева, одни въ другія входятъ, какъ можно сдѣлать съ щетинами двухъ щетокъ. Если желаютъ получить степень влеченія, нужную чтобы заставить двѣ щетки скользить одну по другой, должно испытать, и положеніе щетинъ въ минуту когда, послѣ нѣкотораго покоя, сдѣлаютъ усиліе чтобы сдвинуть щетки, и различное положеніе, въ которомъ находятся щетины, когда скользя одни по другимъ будутъ имѣть какое либо относительное движеніе.

Посему представимъ, что положа двѣ полированныя доски, одну на другую, волокна составляющія ихъ поверхности, одни въ другія свободно входятъ.

Теперь если пожелаютъ заставить скользить верхнюю доску по нижней, то волокна двухъ поверхностей будутъ взаимно сгибаться до тѣхъ поръ, пока они будутъ касаться, однако безъ раздѣпанія; достигнувъ сего положенія онѣ взаимно касаясь не могутъ болѣе гнуться и уголъ ихъ наклоненія завися отъ толщины волоконъ будетъ

Digitized by Google

одинъ и тотъ же при всѣхъ степеняхъ давленія. Слѣдовательно, при всѣхъ степеняхъ давленія, потребна сила пропорціональная сему давленію, чтобы волокна скользя по сему наклоненію могли разцѣпляться.

Но если сдвинуть санки и заставить ихъ продолжать скользить, то всѣ волокна разцѣпятся и разцѣпляясь оставятъ пустоту между соѣдними волокнами одной и той же поверхности; посему они будутъ ложиться одни по другимъ пока будутъ касаться, и примутъ наклоненіе гораздо болѣе предыдущаго, но которое останется однимъ и тѣмъ же при всѣхъ степеняхъ давленія. Итакъ, при движеніи плоскостей, треніе должно быть еще пропорціонально давленіямъ: измѣненія относительно сей теоріи будутъ только тогда, когда поверхности прикосновенія приведутся къ ихъ наименьшимъ размѣреніямъ; поелику тогда внутреннія части поверхностей, начиная уступать большимъ давленіямъ, которыя они испытываютъ произведутъ что волокна могутъ еще уклоняться: здѣсь происходитъ тоже самое, что мы нашли заставляя скользить понаправленію волоконъ санки, поддерживаемыя двумя скругленными дубовыми брусками.

Сею теоріею можно изъяснить сдѣланное нами примѣчаніе; когда дубовые бруски, поддерживающіе санки, скользятъ по направленію длины ихъ, то точки доски будучи въ покоѣ подъ сими брусками находятся сжатыми все время, употребляемое санками для прохожденія длины ихъ, которое довольно продолжительно дабы поверхности могли

Digitized by Google

сгибаться и чтобы волокна наклонялись болѣе чѣмъ когда ихъ оконечности только касаются. Но когда бруски, поддерживающіе санки помѣщены при оконечности и поперегъ санокъ, тогда точки прикосновенія съ доскою, въ покоѣ находящіяся, будучи подвержены сжатію только одно мгновеніе, не имѣютъ времени чувствительно гнуться и отношеніе давленія къ тренію остается тѣмъ же, какъ при большихъ такъ и малыхъ давленіяхъ.

Такъ какъ металлы состоятъ не изъ волоконъ и не изъ гибкихъ частей, то положеніе углубленій ихъ фигуры ни въ какихъ обстоятельствахъ не можетъ измѣниться: слѣдовательно, будутъ ли санки въ движеніи или въ покоѣ, степень тренія будетъ всегда одна и таже; поелику она зависитъ отъ фигуры частицъ, составляющихъ поверхности и отъ наклоненія касательной плоскости въ точкахъ прикосновенія. Когда дерево скользитъ по металлу, то упругія волокна дерева, сгибаясь по длинѣ углубленій, проникаютъ въ сіи углубленія: но какъ онѣ упруги то углубляются въ сіи впадины только мало по малу; посему сопротивленіе тренія увеличится помѣрѣ того какъ время покоя, предшествующее усилію дабы поверхности сіи заставить скользить, будетъ болѣе продолжительно. Но предполагая, что санки находятся въ движеніи, то волокна покрывающія поверхность дерева, встрѣчая неровности металла, будутъ сгибаться дабы перейти вершины сихъ неровностей. Сіе сгибаніе будетъ необходимо таково, что противудѣйствіе упругости волоконъ будетъ пропорціонально давленію: итакъ, при нечувствитель-

Digitized by Google

ныхъ скоростяхъ треніе также пропорціонально давленію, какъ доказывается и на опытѣ; когда санки будутъ двигаться съ какою нибудь скоростію, то какъ выемки поверхности металла обширнѣе относительно толщины волоконъ дерева, волокна сіи пройдя чрезъ верхушки неровностей металлической поверхности выпрямятся; почему они должны снова согнуться чтобы пройти чрезъ слѣдующее возвышеніе. Чѣмъ скорость будетъ больше, тѣмъ больше должны сгибаться волокна: итакъ, треніе должно возрастать по закону скорости; однако, помѣрѣ увеличиванія скорости, они будутъ сгибаться подъ меньшимъ угломъ, поелику проходя отъ одной вершины къ другой, жилки сіи неимѣютъ времени совершенно выпрямиться.

При треніи дерева и металла, смазанныхъ саломъ, когда поверхности прикосновенія были приведены къ закругленымъ угламъ, мы нашли, что если брусочки проходятъ поперегъ волоконъ дерева, то скорость перестаетъ имѣть вліяніе на треніе. Въ семъ родѣ тренія кажется будто сало приклѣиваетъ волокна одни къ другимъ и заставляетъ ихъ отчасти тѣрять свою, упругость вотъ занимательное по сему предмету примѣчаніе. Заставляя вращаться бакаутовый блокъ на желѣзной оси, безъ всякой подмазки, Куломбъ нашелъ что при новомъ блокѣ въ продолженіе первыхъ 20 минутъ, треніе увеличивается со скоростію по законамъ, сходнымъ съ тѣми, которые мы нашли для дерева и желѣза, въ движеніи санокъ. Однако по прошествіи двухъ часовъ непрерывнаго тренія,

Digitized by Google

при быстромъ круговращеніи, волокна дерева теряютъ большую часть ихъ упругости и треніе при увеличиваніи скорости почти болѣе неувеличивается. Смазываніе оси саломъ производилось съ величайшею поспѣшностію; ибо попрошествіи одной минуты круговращательнаго движенія, при давленіи 600 фунтовъ, бакаутовый блокъ, надѣтый на желѣзную ось смазанную саломъ, при какой либо степени скорости, имѣлъ всегда одно и тоже треніе.

Если сравнить сопротивленіе тѣла, имѣющаго данный вѣсъ, которое идетъ впередъ опираясь на другое тѣло и невращаясь кругомъ, съ сопротивленіемъ, предлагающимъ первымъ, когда оно вертится на второмъ, то увидимъ, что во второмъ случаѣ сопротивленіе будетъ гораздо менѣе значительно чѣмъ въ первомъ. Напримѣръ, заставивъ дерево катиться по дереву, при малыхъ колесахъ сопротивленіе относится къ давленію какъ 1,000 : 16 или 18, а при большихъ какъ 1,000 : 6. Когда же дерево будетъ скользить по дереву, не вращаясь, то отношеніе сіе дѣлается отъ 1,000 : 200 до 1,000 : 500, смотря по свойству дерева. Итакъ, катая круглое тѣло по другому плоскому, вмѣсто того чтобы его тащить по оному, безъ вращенія, получимъ отъ 12 до 20 разъ болѣе выгоды.

Вотъ почему перевозка на колесахъ содѣлывается столь драгоцѣнною для работъ промышленности. Положимъ что повозка вѣсомъ въ 1000 фунтовъ, имѣетъ колеса прикрѣпленныя къ осямъ такъ, что они не вертятся и должны тащиться по землѣ; предположимъ также, что они идутъ

Digitized by Google

по деревяннымъ колесамъ и неимѣютъ шинъ, тогда сопротивленіе отъ тренія будетъ въ 200 фунтовъ. Но когда колеса могутъ на сихъ осяхъ вертѣться, то сопротивленіе сіе вдругъ приводится по большей мѣрѣ къ 6 фунтамъ. Теперь положимъ, что діаметръ оси есть пятидесятая часть діаметра колеса; когда колесо сдѣлаетъ полный оборотъ, то каждая изъ точекъ его ступицы, находящихся въ прикосновеніи съ осью, пробѣжитъ длину въ пятдесятъ разъ менѣе длины окружности самаго колеса. Слѣдовательно скорость ступицы, трущейся около поверхности оси, будетъ пятидесятая часть скорости точекъ колеса, касающихся земли. Посему треніе колеса объ ось будетъ пятидесятая часть того, которое мы нашли бы, если повозка вдругъ преобразится въ санки и будетъ скользить по желѣзу. Изъ сего видно сколь перевозка на колесахъ уменьшаетъ сопротивленіе тренія, наипаче при мѣдныхъ втулкахъ. Итакъ остается побѣдить одно только сопротивленіе неровностей земли и сцѣпленія оной съ окружностію колеса; сопротивленіе, которое при употребленіи чугунныхъ дорогъ значительно уменьшается.

При перевозкѣ тяжестей обремѣнительныхъ для повозокъ катаютъ ихъ на каткахъ или шарахъ [фиг. 8].

Мы видѣли какимъ образомъ промышленность достигла уменьшенія сопротивленія тренія. Есть случаи, въ которыхъ напротивъ, должно увеличить сопротивленіе происходящее отъ тренія; напримѣръ, когда повозка переходитъ съ горизон-

Digitized by Google

шальной дороги на весьма покатую, то надлежитъ сколь возможно препятствовать приобрѣтать ей возрастаніе скорости, которая можетъ содѣлаться пагубною. Сему можно удовлетворить двумя способами; сперва возпрепятствовавъ колесамъ вертѣться заставить ихъ тащиться по землѣ. Но сопротивленіе тренія скоро испортитъ шины и сдѣлаетъ негодными къ употребленію. Неудобству сему пособляютъ помощію металлическаго тормаза S (фиг. 9), который обхватываетъ обводъ колеса. Способъ сей имѣетъ свою невыгоду. Когда земля имѣетъ весьма большія неправильности, какъ то ямы или большой величины каменья, то легко можетъ быть что колесо соскочитъ съ тормаза; тогда вся опасность снова возвратится.

Гораздо проще, сдѣлать деревянную или желѣзную дугу круга, помѣстивъ ее позади большаго колеса (фиг. 10), такъ что она можетъ приблизиться къ сему концу помощію нажимательнаго винта. При увеличеніи сего нажиманія оно раждаетъ пропорціональное сопротивленіе тренія и колесо скоро почти теряетъ всю свою скорость. Сей родъ зацѣпленія, который по произволу можно уменьшить или увеличить, во многихъ отношеніяхъ весьма предпочтителенъ; онъ употребляется теперь, почти вообще, въ дилижансахъ и другихъ экипажахъ.

Въ большихъ машинахъ и наипаче въ вѣтреныхъ мѣльницахъ, бываетъ весьма важно умѣть внезапно остановить или покрайнѣй мѣрѣ по желанію умѣрить ходъ машины. Сіе дѣлаютъ помощію зацирки ABC (фиг. 11). Такимъ образомъ называютъ,

Digitized by Google

деревянную большую дугу круга, имѣющую на внѣшней сторонѣ желѣзную полосу. Если къ большему плечу сего рычага приложить силу, то запирка отъ сего побуждается приблизиться къ большому колесу, учавствующему въ общемъ движеніи машины. На колесо сіе производится весьма значительное давленіе, достаточное для произведенія желаемаго дѣйствія. Опыты Куломба, почти во всѣхъ случаяхъ показываютъ при данномъ давленіи, сопротивленіе тренія запирокъ.

Журавль есть также изъ тѣхъ машинъ, къ которой нужно присоединить запирку. Поелику, если работники не въ силахъ болѣе превозмогать тяжесть, которую имъ поднять должно, то машина приметъ ускорительное обратное движеніе, могущее имѣть весьма пагубное слѣдствіе.

Въ превосходныхъ магазинахъ Лондона, вороты употребляемые для выгрузки товаровъ, снабжены подобными запирками. Когда хотятъ спускать товары, то отпускаютъ рукоятку ворота, тогда они спускаются со всею скоростію, которую заставляетъ ихъ преобрѣтать тяжесть. Внимательный работникъ держитъ рукою по длинѣ плеча рычага, дѣйствующаго на запирку. Онъ смотритъ на спускающійся товаръ и увидѣвъ, что онъ на футъ недостаетъ земли или повозки, на которую сей товаръ долженъ быть положенъ, вдругъ нажимаетъ на рычагъ, тогда товаръ останавливается.

Digitized by Google

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

О давленіяхъ, напряженіяхъ и объ упругости вообще.

До сихъ поръ мы разсматривали дѣйствіе силъ, употребляемыхъ для сжиманія или вытягиванія тѣлъ, предполагая что тѣла сохраняютъ всегда одни и тѣже размѣренія: предположеніе сіе далеко отстоитъ отъ сущности вѣщей. Большая часть тѣлъ, подвергнутыхъ дѣйствію сжимающихъ силъ, уменьшаются въ размѣреніи съ той стороны, съ которой производится нажиманіе.

Въ семъ отношеніи примѣчается весьма большое отличіе между различными существами.

Нѣкоторыя тѣла кажется не сопротивляясь уступаютъ малѣйшему давленію, и сохраняютъ размѣренія однажды полученныя отъ сего давленія: таковыя тѣла суть мягкія.

Другія легко уступаютъ давленію, но когда сила сжимающая ихъ перестаетъ дѣйствовать, то размѣренія уменьшенныя дѣйствіемъ сей силы, начинаютъ тотчасъ увеличиваться и болѣе или менѣе приближаются къ первоначальнымъ размѣреніямъ. Тѣла, обладающія симъ свойствомъ, называются *упругими*.

Тѣла были бы совершенно упруги, еслибъ они снова принимали первоначальныя размѣренія съ тою скоростію, которую они потеряли. Но въ природѣ нѣтъ тѣлъ совершенно упругихъ.

Digitized by Google

Подвергнувъ тѣло первому сжиманію и уничтоживъ силу приводящую его въ сіе состояніе, оно приметъ по возможности первоначальныя размѣренія. Заставимъ силу дѣйствовать снова; тѣло опять сожмется, и пообыкновенію болѣе нежели въ первый разъ. Равнымъ образомъ, когда сила перестанетъ дѣйствовать оно приметъ гораздо менѣе изъ первоначальныхъ размѣреній, нежели въ первый разъ приняло. Итакъ, повторяемое дѣйствіе сжимающихъ силъ, тѣла болѣе и болѣе уменьшаютъ свою упругость. Однако многія тѣла при каждомъ разѣ теряютъ только нечувствительную часть своей упругости; таковыя тѣла долгое время могутъ быть употребляемы, несмотря на продолжительное и часто повторяемое дѣйствіе сжимающихъ силъ.

Упругія тѣла чрезъ сжиманіе оказываютъ промышленности безчисленныя услуги, для равномѣрнаго разпредѣленія давленій, производимыхъ силою, дѣйствующею по прямой линіи. Пусть, напримѣръ, требуется на листѣ бумаги или ткани сдѣлать отпечатокъ, выгравированный на металлическомъ листѣ? Для сего подъ листъ бумаги или ткани кладутъ упругое тѣло; кладутъ другое сверхъ металлическаго листа, а на оное твердое, плоское тѣло, на которое дѣйствуетъ сила чрезъ одну или многія точки. Сила сія, проходя чрезъ твердое тѣло, постепенно сжимаетъ выдающіяся части двухъ упругихъ тѣлъ. По мѣрѣ того какъ сила сжимаетъ болѣе выдающіяся части, она приводитъ въ прикосновеніе гораздо большее число частей, и оканчиваетъ сжи-

Digitized by Google

маніемъ столь большаго числа, что во всѣхъ точкахъ поверхности, касающейся металлическаго листа съ одной стороны, съ листомъ бумаги или ткани съ другой стороны, прилагается часть сжимающей силы, довольно значительная, что ткань или бумага, кои сами по себѣ суть тѣла сжимаемыя, проникаютъ въ выемки доски, долженствующей произвести отпечатокъ.

Можно привести въ большой части художествъ, подобныя употребленія упругихъ или мягкихъ тѣлъ, дабы единообразно ра ѣлить давленія, которыя, еслибы дѣйствовали на одну точку, могли бы разбить или испортить нажимаемое тѣло.

Когда хотятъ полировать или подпиливать металлическое тѣло, котораго поверхность должна быть тщательно выработана, то между сею поверхностію и отверстіемъ тисковъ кладутъ мягкое тѣло, какъ дерево, свинецъ, мѣдь, и проч., которое раздѣляетъ давленіе на большое число точекъ поверхности обдѣлываемаго тѣла, и отъ таковаго способа оно не портится.

При связываніи вмѣстѣ предметовъ, которыхъ поверхность боятся изцарапать, должно обернуть ихъ упругимъ тѣломъ. Потомъ, связку сію можно сильно стянуть веревкою; поелику давленіе веревки раздѣляется чрезъ сжимаемую обертку и достигаетъ уже весьма раздѣленнымъ различныхъ точекъ связанныхъ тѣлъ.

Въ главѣ, въ которой будемъ разсуждать о сраженіи тѣлъ, мы разсмотримъ дѣйствіе подобнаго рода, по предмету упругихъ тѣлъ, опредѣленныхъ

Digitized by Google

для передачи или лучше для умягченія скорыхъ движеній.

Если предполагаютъ, что силы дѣйствуютъ въ противуположномъ направленіи для отдаленія между собою разныхъ частей одного и того же тѣла, тогда они разтягиваютъ, увеличиваютъ болѣе или менѣе размѣръ сего тѣла по прямой линіи, которая соединяетъ точки прикосновенія силъ, направленныхъ противуположнымъ образомъ. Нѣкоторыя тѣла уступаютъ почти безъ сопротивленія дѣйствію разширительныхъ силъ, и бывъ единожды разтянуты, неприходятъ болѣе въ начальную ихъ величину: таково есть свойство *тѣлъ мягкихъ*. Есть другаго рода тѣла, коихъ размѣры приходятъ постепенно въ прежнее свое положеніе коль скоро остановится дѣйствіе разширительныхъ силъ; таковы суть всѣ *упругія тѣла*. Есть тѣла еще особеннаго рода, которыя въ высочайшей степени обладаютъ свойствомъ приходить въ первобытное свое состояніе, не смотря на то, сжимаютъ ли ихъ, или разтягиваютъ. Наконецъ, есть и такія, которыя приходятъ гораздо совершеннѣе въ прежнія свои размѣры въ то время когда ихъ разтягиваютъ, а не тогда какъ сжимаютъ; а другія—напротивъ. Въ каждой отрасли промышленности весьма важную науку составляетъ относительно натуральныхъ и выработанныхъ вещей—изслѣдованіи свойствъ оныхъ, относительно къ упругости, на тотъ конецъ, чтобы избирать всегда родъ матеріала наиболѣе способнаго ко всякому роду работы. Можно довести сіе изученіе до опредѣленныхъ опытовъ, ко-

Digitized by Google

торыя до сихъ поръ дѣлали только надъ весьма немногими веществами и въ немногихъ случаяхъ.

Нитки пеньковыя, шелковыя, бумажныя, впроч. и проволоки металлическія, весьма мало способны сопротивляться сплющенію, что происходитъ отъ малости ихъ діаметра относительно длины. Онѣ за то болѣе способны сопротивляться напряженію, каждая постепени ея силы и ея упругости. Сія упругость содѣлываетъ ихъ драгоцѣнными для работъ промышленности.

Напримѣръ, если должно передать круговое движеніе съ одного колеса на другое, то обвертываютъ сіи колеса по ободамъ веревкою или ремнемъ, которымъ даютъ извѣстную степень напряженія. Напряженіе сіе разпредѣляется единообразно по всѣмъ точкамъ веревки или ремня, которыя въ каждой изъ сихъ точекъ дѣйствуютъ для обратнаго принятія первоначальныхъ размѣреній, чего нельзя иначе сдѣлать какъ сжимая окружность колеса. Потомъ, когда приводятъ въ движеніе одно изъ колесъ, то сопротивленіе отъ тренія увлекаетъ веревку или ремень по окружности сего перваго колеса, а давленіе производимое веревкою или ремнемъ на другое колесо, раждаетъ треніе, передающее движеніе сему второму колесу. Упругость, противящаяся напряженію отъ употребленія постепенно уничтожается. Посему то веревки и ремни, хотя сопротивляющіяся, при каждомъ мгновеніи, по причинѣ ихъ упругости, сопротивляются менѣе и менѣе и, вытягиваются: для чего должно искать средствъ предупредить сіе вытягиваніе. Смотри Геометрію, Главу III.

Digitized by Google

Натянувъ сильно струну и взявъ оную между двумя ея оконечностями выгнуть а потомъ оставить ее самой себѣ, она приметъ движеніе взадъ и впередъ, болѣе или менѣе быстрое, извѣстное подъ именемъ *дрожательнаго*. Въ семъ движеніи она сильно колеблетъ окружающій ее воздухъ и сіе то колебаніе производитъ звукъ. Замѣчено, что увеличивая постепенно степень напряженіе одной и той же струны, звуки произведенные качаніемъ сей струны становятся болѣе и болѣе высокими, и такимъ образомъ постепенно переходятъ отъ густыхъ до тонкихъ. Между безконечными измѣненіями производимыхъ такимъ образомъ звуковъ, есть нѣкоторое число, которые нравятся нашему слуху и составляютъ часть музыкальной системы. Опытомъ опредѣлено каковы должны быть отношенія между напряженіями одной и той струны, то есть, какую тяжесть должно употребить, чтобы получить сіе напряженіе, производящее музыкальный тонъ. Итакъ, опредѣленіе тоновъ есть слѣдствіе опытовъ Механики.

Замѣчено, что при одномъ и томъ же веществѣ, при данной длинѣ, звуки должны быть тѣмъ гуще, чѣмъ болѣе будетъ діаметръ струны. Опредѣли отношенія между возвышеніемъ тоновъ и діаметровъ струнъ изъ различныхъ веществъ. Струнные инструменты состоятъ изъ извѣстнаго числа струнъ металлическихъ или кишечныхъ, которыхъ размѣренія и длины такъ соединены, что производятъ послѣдовательный рядъ музыкальныхъ тоновъ, между данными предѣлами. Здѣсь можемъ мы только означить сіи употребле-

Digitized by Google

нія. Одна и таже струна сохраняя постоянное напряженіе, при уменьшеніи длины своей, можетъ издавать болѣе тонкіе звуки, а при увеличеніи длины оной, напротивъ болѣе густые.

Педали струнныхъ инструментовъ суть рычаги, имѣющіе предметомъ прижимать постоянную точку въ извѣстныхъ промежуточныхъ частяхъ струнъ, дабы уменьшить длину оныхъ. Такимъ образомъ, одной и той же струнѣ придаютъ постепенно болѣе или менѣе высокіе тоны и тѣмъ много увеличиваютъ богатство инструмента.

Размотрѣвъ упругость отдѣльныхъ нитей, займемся упругостію соединенныхъ нитей. Нити употребляемыя для тканія матерій, суть болѣе или менѣе упруги. Сія самая упругость много прибавляетъ удобности для производства ткачества. Въ самомъ дѣлѣ, когда нити основы равно натянуты при первомъ движеніи и если онѣ не могутъ измѣнить своихъ размѣреній не иначе какъ разорвавшись, то разорвутся при каждой легкой неровности, производимой размѣреніями или движеніями станка, употребляемаго для тканія матерій. Напротивъ же, нити сія могутъ уступить силамъ, внезапно ихъ натягивающимъ и потомъ снова принимать ихъ первоначальныя размѣренія, неразрываясь, какъ развѣ только въ чрезвычайныхъ случаяхъ. Еслибы ткани, употребляемыя для одѣждъ нашихъ небыли составлены изъ упругихъ нитей, то предполагая ихъ нетягучими онѣ, могли бы образовать только развертывающіяся поверхности, или предполагая ихъ совер-

Digitized by Google

шенно мягкими, онѣ образовали бы поверхности никогда непринимающія своей первоначальной фигуры. Но по причинѣ упругости нѣкоторыя части тканей могутъ принимать двѣ кривизны, то подлинѣ, то по противоположному направленію; такимъ образомъ онѣ могутъ слѣдовать привизнамъ поверхности человѣческаго тѣла, въ различныхъ движеніяхъ нашихъ членовъ. Объемъ и кривизна сихъ членовъ, наипаче въ составахъ внезапно измѣняются; должно чтобъ ткани могли измѣняться по симъ самымъ измѣненіямъ и потомъ принимать свою первоначальную форму. Онѣ исполняютъ сіе по причинѣ своей упругости.

Есть такія части нашихъ одѣждъ, которыя требуютъ быть поддержанными или сжатыми силою никогда непревосходящею извѣстнаго предѣла. Если для произведеній таковыхъ сжаманій употребимъ ткани нетягучія тогда онѣ будутъ препятствовать движеніямъ нашего тѣла, стремящагося увеличить размѣренія движимыхъ частей. Вотъ почему поясы, подвязки, перчатки, чулки, башмаки, и вообще всѣ части нашихъ одеждъ, покрывающія тѣло, дѣлаются изъ упругихъ веществъ. Уже потому, что мы претерпѣваемъ отъ башмаковъ, неимѣющихъ достаточной упругости, можно судить о пользѣ доставляемой намъ свойствомъ веществъ.

Вмѣсто употребленія прямыхъ и параллельныхъ нитей, для образованія упругихъ поверхностей, имѣющихъ одну только тягучесть, которую можетъ имѣть всякая нить, образуютъ ткани, въ которыхъ нити разположены излучи-

Digitized by Google

сто. Онѣ могутъ имѣть гораздо большую длину чѣмъ прямолинейное разстояніе ихъ оконечностей. Образованныя такимъ образомъ ткани, будутъ способны, одною и тою же силою натягиваться гораздо болѣе обыкновенныхъ тканей. Если уничтожить дѣйствіе сей силы, ткань сожмется, такъ что оконечныя точки оной пробѣгутъ большее пространство. Для сего то дѣлаютъ вязаныя матеріи, которыя по причины удобности ихъ вытягиваться и сжиматься, содѣлаваются способными совершенно покрывать тѣ изъ нашихъ членовъ, которые отъ нашихъ движеній болѣе измѣняются. Дѣйствіе подобное вязанію производится окруженіемъ металлической проволоки спиралью. Таковыя спирали предлагаютъ развертываніе между ихъ оконечностями, гораздо болѣе значительное, чѣмъ прямолинейное разстояніе сихъ оконечностей; посему одна и таже сила, употребленная для сжатія и вытягиванія обвитой такимъ образомъ нити, должна произвести вытягиваніе или сжиманіе гораздо болѣе значительное, чѣмъ дѣйствуя на натянутую нить. Посему то, употребляютъ проволоку, согнутую спиралью для упругихъ подтяжекъ, для пружинъ въ экипажахъ и для подобныхъ употребленій въ большой части машинъ.

Веревки, будучи образованы изъ нитей согнутыхъ спирально, обладаютъ по сей причинѣ степенью упругости, различною отъ той степени, которую сіи нити имѣютъ, если онѣ будутъ натянуты въ прямой линіи; упругость сія весьма

Digitized by Google

драгоцѣнна для машинъ, особенно при оснасткѣ кораблей.

До сихъ поръ мы опредѣляли силу сопротивленія дерева до его преломленія, при давленіи дѣйствующемъ перпендикулярно къ его волокнамъ, или по самому ихъ направленію.

Безъ сомнѣнія, весьма важно знать ту крайную точку, тотъ предѣлъ силы сопротивленія дерева, дабы можно было употреблять матеріалы, имѣющія гораздо большую силу чѣмъ та, которой они должны сопротивляться, какъ въ строеніяхъ такъ и въ машинахъ. Но всегда надлежитъ чтобъ сила сопротивленія дерева далеко превосходила сей предѣлъ; особенно при долговременныхъ работахъ, она должна еще болѣе превосходить его. Въ самомъ дѣлѣ, время безпрестанно уменьшаетъ сію силу дерева и тысяча другихъ причинъ могутъ нарушить его первоначальное качество.

Есть другой родъ изысканій неменѣе полѣзный, можетъ быть еще полезнѣйшій, но который однако менѣе изслѣдывается; это есть опредѣленіе сравнительныхъ сопротивленій дерева, когда подвергаютъ ихъ дѣйствію силъ способныхъ немного нарушить фигуру ихъ.

При построеніи зданій, машинъ, кораблей, мы предполагаемъ, что части большихъ размѣреній и притомъ мало обремѣненныя, сохраняютъ фигуру данную имъ по строгому чертежу: но сего небываетъ. Въ природѣ, малѣйшія силы имѣютъ свое извѣстное дѣйствіе, хотя иногда весьма малое дабы чувствами ихъ примѣтить можно было. Часто сіи непримѣтныя дѣйствія, совокупляются

Digitized by Google

въ одну точку и производятъ весьма примѣчательныя и неприятныя слѣдствія; мы представимъ оному примѣръ.

Величайшее изъ зданій, которыя строимъ изъ дерева есть безпрекословно корабль, каковой входитъ въ линіи эскадры. Когда корабль перваго ранга стоитъ на стапели, то его послѣдніе пояса доходятъ до конька высочайшихъ зданій. Въ немъ должны помѣщаться тысяча человѣкъ и сверхъ того долженъ заключать жизненные для нихъ припасы на шесть мѣсяцевъ и артиллерію. Итакъ, прочность его устройства соотвѣтствуетъ обширности содержимыхъ предметовъ. Его деревянныя перегородки мы назвали стѣнами, которыхъ толстота въ самомъ дѣлѣ равна толстотѣ внѣшнихъ стѣнъ нашихъ обыкновенныхъ домовъ. Связи, подпоры всѣхъ родовъ совокуплены во взаимномъ согласіи; мѣдь, желѣзо расточены въ ономъ для удержанія въ соединеніи всѣхъ частей. Кто будетъ сомнѣваться что со средствами столь сильными и столь хорошо разположенными, форма корабля небудетъ неизмѣнна? Однако сего не бываетъ. Едва онъ спускается на воду, какъ неравенство дѣйствія, произведеннаго по одному направленію тяжестію соединившеюся къ оконечностямъ его и отплескиваніе воды, сосредоточенною къ срединѣ корабля, вдругъ сгибаетъ по всей длинѣ сію огромную машину и заставляетъ киль онаго принять дугу, которая при 200 футахъ часто имѣетъ стрѣлку въ $1\frac{1}{2}$ фута, а иногда и болѣе.

Digitized by Google

Таковая перемѣна безъсомнѣнія чрезвычайно велика; она очень измѣняетъ остойчивость кораблей; она имѣетъ вліяніе на всѣ прочія его качества. Однако если мы хотимъ знать какова будетъ стрѣлка дуги, имѣющей хорду въ $6\frac{1}{2}$ футовъ, при кривизнѣ, о которой мы теперь сказали, то нашли бы что новая дуга должна имѣть стрѣлку менѣе $\frac{1}{13}$ линіи, то есть, величину почти непримѣтную, при длинѣ покрайней мѣрѣ равной наибольшей высотѣ нашего стана.

Сіе то, едва замѣтное измѣненіе дерева, вознамѣрился я сперва опредѣлить. Я хотѣлъ прежде всего узнать сопротивленіе его при всѣхъ перемѣнахъ состоянія, въ минуту, когда сіе сопротивленіе начинаетъ оказывать свои дѣйствія, то есть, въ минуту когда тѣла, по причинѣ выдерживаемыхъ ими тяжестей, чрезвычайно мало измѣняютъ форму свою. Безъ сомнѣнія увидятъ съ нѣкоторымъ любопытствомъ, что законы и отступленія ихъ, примѣчаемыя въ опытахъ производимыхъ надъ разрываніемъ дерева въ большомъ видѣ, то есть, когда измѣненіе ихъ есть наивозможно большое, суть только необходимыя слѣдствія чрезвычайно малыхъ измѣненій, которыхъ наималѣйшее сгибаніе представляется наблюдателю.

Я представлю здѣсь краткое повтореніе изысканій *о сгибаніи, о силѣ и о упругости дерева*, производимыхъ мною въ опытахъ 1811 года, въ Арсеналѣ Корсиры; опытовъ дѣлаемыхъ въ большомъ видѣ 1813 года въ Тулонскомъ Арсеналѣ; потомъ 1816 и 1817 годахъ въ Дункирхенскомъ Ар-

Digitized by Google

сеналѣ. Опыты, производимые въ Корсирѣ описаны въ журналѣ Политехнической школы въ X томѣ. Фигура 9 изображаетъ приборъ употребленный въ опытахъ въ Тулонѣ; фиг. 2. представляетъ приборъ, употребленный въ опытахъ производимыхъ въ Корсирѣ.

На большомъ столѣ [фиг. 2] утверждено двѣ горизонтальныя подпорки на одномъ горизонтѣ, имѣющія между собою разстояніе въ $6\frac{1}{2}$ футовъ; я дѣлалъ параллеллопиды изъ дуба, кипариса, бука и изъ ели.

Сіи параллеллопипеды длиною немного болѣе $6\frac{1}{2}$ футовъ, клались по очереди на подпорки S, S, такъ чтобы бруски сіи сгибаясь не могли упасть между подпорками.

Параллеллопипеды сіи, которые я просто-назову брусками, обремѣнялъ тяжестями, помѣщая ихъ въ равныхъ разстояніяхъ отъ двухъ подпорокъ; тогда каждый брусокъ принималъ нѣкоторую кривизну.

Очевидно, что каждое ребро ABC, DEF [фиг. 2] бруска, сгибалось по кривой, расположенной въ вертикальной плоскости симметрически, относительно вертикальной плоскости BE, проведенной чрезъ среднюю точку, гдѣ положена тяжесть, перпендикулярно къ самой плоскости сгибанія.

Такова кривая, которой начала опредѣлить должно; я всегда разсматривалъ вогнутую поверхность согнутаго бруска.

Въ многочисленныхъ опытахъ, мною производимыхъ я замѣчалъ постоянно, что при малыхъ тяжестяхъ, стрѣлки GB дугъ ABC, образованныхъ

Digitized by Google

согнутыми брусками, были всегда пропорціональны самымъ тяжестямъ.

Но когда стрѣлки были весьма малы относительно постоянной хорды многихъ дугъ, то кривизна сихъ дугъ была прямо пропорціональна соотвѣтствующимъ стрѣлкамъ. Отсюда я вывелъ сію первую теорему, которую доказываетъ и теорія.

Сгибаніе дерева, произведенное весьма малыми тяжестями, пропорціонально симъ тяжестямъ; измѣряя сіе сгибаніе стрѣлкою GB *дуги его* ABC, *то есть пониженіемъ или спусканіемъ средней точки бруска.*

Посему, также, когда одинъ и тотъ брусокъ, будетъ обремѣняемъ между одними и тѣми же подпорками, различными тяжестями, сіи тяжести будутъ обратно пропорціональны радіусамъ кривизны бруска въ его средней точкѣ, а самыя кривизны прямо пропорціональны симъ малымъ тяжестямъ.

Опредѣливъ такимъ образомъ отношеніе силы сгибанія, вѣсомъ производящимъ оное, должно посмотрѣть сохранится ли законъ сей, когда обремѣнимъ бруски болѣе значительными тяжестями; а если онъ не сохранится, то какое измѣненіе будетъ въ законѣ семъ.

Я взялъ четырехъ родовъ дерево вообще наиболѣе въ художествахъ употребляемыхъ: они суть тѣ, кои я уже упомянулъ. Дубъ и ель были срублены можетъ быть за 25 лѣтъ.

Итакъ, несохранилиль дерева сіи всю первоначальную свою силу. Но поелику дѣло шло объ оп-

Digitized by Google

предѣленіи законовъ, отъ которыхъ зависитъ сила и упругость дерева, въ главныхъ отношеніяхъ, независящихъ отъ собственной крѣпости древесныхъ волоконъ и даже отъ рода и вида деревъ, то дерева сіи исполнили предметъ нашъ какъ будто они были недавно срублены. Напослѣдокъ, кипарисъ и дубъ, срубленные только за годъ, имѣли упругость, которая представила намъ тѣже свойства, что и деревья срубленныя какъ мы сказали за 25 лѣтъ: что очевидно доказываетъ справедливость нашего положенія.

Сдѣланы были четыре бруска или параллеллопипеда, имѣющіе какъ мы уже сказали немного болѣе $6\frac{1}{2}$ футовъ длины; они имѣли около дюйма квадратной толщины. Каждый изъ брусковъ послѣдовательно ставили на подпорки, потомъ въ срединѣ оныхъ клали тяжести, сначала въ $9\frac{1}{2}$, потомъ 19, 29, 39..... до 58 фунтовъ. Сдѣланы были таблицы показывающія: 1. Стрѣлки дуги принимаемой брусками; 2. Первыя разности сихъ стрѣлокъ.

Разсматривая таблицы сіи замѣтили что 19 фунтовъ сгибали брусокъ только вдвое болѣе чѣмъ $9\frac{1}{2}$ фунтовъ: пропорціональность, которая должна существовать при малыхъ давленіяхъ.

Въ таблицахъ относящихся ко всѣмъ деревамъ, къ дубу, кипарису, буку, ели, я замѣчалъ потомъ что первыя разности стрѣлокъ всегда увеличивались.

Правда, что въ нихъ находятся нѣкоторыя легкія отступленія. Но поелику погрѣшности находятся только въ сопыхъ частяхъ линіи, то при употребле-

Digitized by Google

ніи дерева тщательно обдѣланнаго и прибѣгая къ средствамъ осторожности, получатъ выводы, которыхъ вторыя (*) разности будутъ постоянны, или покрайнѣй мѣрѣ окажутъ во вся нечувствительныя измѣненія.

Такимъ образомъ, мы можемъ вторыя разности размѣреній принять постоянными, когда тяжести обремѣняющія одинъ и тотъ же брусокъ возрастаютъ по первымъ постояннымъ разностямъ. Законъ сей весьма простъ однако столь сходенъ съ опытомъ, что если мы сдѣлаемъ напримѣръ для дуба, правильный рядъ членовъ, то выводы будутъ разниться отъ наблюденій только на $\frac{1}{7}$ линіи. Все же сгибаніе, которое мы произвели равно однако 406 таковой $\frac{1}{7}$ части. Посему нетрудно изъяснить таковое легкое отступленіе.

Брусокъ, сгибаясь образуетъ дугу болѣе длинную чѣмъ ея хорда; посему, брусокъ сей при сгибаніи долженъ скользить по подпоркамъ. Сіи подпорки были простые деревянные брусочки, по которымъ скользили внѣшнія волокна бруска, нетолько непрерывнымъ образомъ, но и съ выступами болѣе или менѣе чувствительными.

Мы хотѣли потомъ видѣть выводъ тѣхъ же формулъ при весьма значительныхъ тяжестяхъ, напримѣръ при 195 фунтахъ. Сравнивая наши выводы съ тѣми, которые получили для тяжести въ 9 фунтовъ, мы узнали, что при той же про-

(*) Такимъ образомъ называютъ разности первыхъ разностей или первыя разности ряда числъ.

Digitized by Google

порціи, кипарисъ имѣетъ меньшую стрѣлку при большей тяжести, потомъ дубъ, послѣ ель, наконецъ букъ.

Отсюда произходитъ сіе примѣчательное слѣдствіе: *хотя бы сопротивленіе было весьма сильно, но если вторыя разности сего дерева, при обремѣненіи онаго довольно большими тяжестями будутъ значительны, то сіе дерево согнется болѣе чѣмъ другое, котораго сопротивленіе къ сгибанію будетъ однако гораздо меньше.*

Извѣстно что букъ совершенно упругъ; токарь дѣлаетъ изъ онаго лугу, служащую уравнителемъ станка его. Въ морскомъ искуствѣ, лучшія потеси, которыя неломаясь выдерживаютъ наибольшія усилія, удары самые частые, суть буковыя потеси. Поелику вторыя разности для бука весьма значительны, сіе большое сгибаніе, къ которому способенъ букъ при данныхъ тяжестяхъ, позволяетъ ему безъ труда уступить частымъ ударамъ и содѣлываетъ его менѣе ломающимся.

Замѣтимъ напротивъ, что кипарисъ мало гибкій и весьма ломающійся, имѣетъ свои вторыя разности почти нечувствительными: онѣ не составляютъ почти и трети разностей бука.

Я опредѣлилъ удѣльныя тяжести четырехъ родовъ дерева, подверженныхъ предыдущимъ опытамъ; порядокъ сихъ тяжестей есть также порядокъ сопротивленій къ сгибанію. Отсюда произходитъ важное для дерева слѣдствіе: *изъ двухъ кораблей, имѣющихъ одинаковые объемы тотъ изъ нихъ, который построенъ изъ болѣе тяжела-*

Digitized by Google

во дерева приметъ меньшую дугу или кривизну, чѣмъ другой, построенный изъ болѣе легкаго дерева.

Посему, корабли Балтики и Голландіи должны принимать большую дугу, чѣмъ корабли Средиземнаго моря. Что также подверждается опытами.

Но по тѣмъ же самымъ вычисленіямъ, *изъ двухъ кораблей, имѣющихъ равный вѣсъ и построенныхъ изъ различнаго дерева, тотъ, который построенъ изъ болѣе легкаго дерева будетъ имѣть дугу меньшей кривизны и слѣдовательно будетъ имѣть большую твердость.*

Знаменитый Донъ Г. Жуанъ кажется угадалъ сію истину, поелику онъ хотѣлъ чтобъ корабли строились изъ деревъ болѣе легкихъ, упругихъ, а не изъ дуба.

Напослѣдокъ, всѣ предыдущіе опыты, предлагая основанія сопротивленій, дадутъ средства вычислять и чрезъ то получать подобные выводы, не прибѣгая къ дорого стоющимъ опытамъ о разрываніи дерева. Симъ средствомъ, можно лучше узнать качества деревъ приличныхъ для различныхъ работъ искуствъ вообще, и наипаче въ морскихъ построеніяхъ; тогда для каждаго корабля можно будетъ установить размѣренія, способомъ менѣе произвольнымъ. Сіи, болѣе разумныя дѣйствія, приведутъ къ важнымъ выводамъ.

Повторивъ опыты надъ штуками одной и той же формы, мы разсматривали послѣ имѣющія различныя толщины и широты и всегда достигали къ сему постоянному выводу:

Digitized by Google

Сопротивленіе къ сгибанію пропорціонально кубу толстоты. Мы теоріею доказали сію истину опыта.

При сгибаніи деревяннаго параллеллопипеда, внутреннія волокна сжимались, а внѣшнія вытягивались, такъ что оставались внутреннія волокна, которыхъ длина оставалась постоянною. Сія длина остается одинаковою какую бы не давали кривизну параллелопипеду.

Для доказательства дѣйствія вытягиванія или укорачиванія волоконъ, Дюгамѐль придумалъ весьма замысловатый опытъ. Онъ пропиливалъ по срединѣ, перпендикулярно къ направленію волоконъ, три четверти толстоты куска дерева; потомъ въ пропиленное мѣсто вставлялъ весьма тонкій клинъ, изъ дерева гораздо твердаго чѣмъ дубъ. Сей кусокъ дерева потомъ поддерживался съ двухъ концевъ, а сторона, съ которой подпиливалось дерево клалось къ верьху и обременялась тяжестію; но какъ дерево сіе было пропилено на три четверти его толстоты, то одна только четверть волоконъ могла сопротивляться напряженіемъ своимъ; такъ что штуки сохранили всю свою силу. Когда пила углублялась немного менѣе, то сила дерева была гораздо больше, и напротивъ она были гораздо меньше въ противномъ случаѣ. Опредѣливъ опытомъ точное положеніе неизмѣняемыхъ волоконъ легко будетъ опредѣлить отношеніе силъ, нужныхъ для произведенія даннаго вытягиванія или укорачиванія, въ волокнахъ одного и того же дерева.

Клавъ тяжести сначала въ одномъ мѣстѣ, потомъ раздѣляя ихъ единообразно по всей длинѣ

Digitized by Google

куска. Здѣсь оказалось, что для одной и той же тяжести, положенной въ срединѣ штуки или раздѣленной единообразно по всему протяженію оной, стрѣлки или низхожденія относились между собою какъ 19 : 30, или просто и точно какъ 5 : 8; отношеніе сіе служитъ какъ для деревъ различныхъ породъ, такъ и различныхъ размѣреній.

Посему если взять вѣсъ призматическаго куска дерева и удвоивъ пять восьмыхъ получаемой имъ стрѣлки, когда оно поддерживается горизонтально съ двухъ концевъ, опредѣлимъ стрѣлку, которую оно получитъ обремѣнивъ тяжестію равною его вѣсу, соединенному въ срединѣ. Правило сіе даетъ простое средство взвѣшивать безъ вѣсовъ, весьма тяжелыя и длинныя дерева, лишь бы толщина ихъ была постоянна.

По изложенному нами теперь, весьма легко принимать вѣсъ соединенный посрединѣ его, какъ вѣсъ единообразно раздѣленный по длинѣ сего куска и обратно, что весьма часто употребляется въ практикѣ.

Опредѣленіе сгибанія брусьевъ, принимая въ соображеніе разстояніе подпорокъ, привело меня къ слѣдующему выводу: *два равной толщины бруска сгибаются по дугамъ, которыхъ стрѣлки пропорціональны кубамъ разстояній подпорокъ.* Припомнимъ притомъ, что между одними и тѣми же подпорками стрѣлки находятся въ обратномъ отношеніи кубовъ толстотъ.

Соединивъ сіи два правила съ другимъ, по которому при незначительныхъ сгибаніяхъ, стрѣлки

Digitized by Google

прямо пропорціональны тяжестямъ, достигаютъ до сего единственнаго вывода.

Пусть будутъ два подобныя куска дерева, то есть, имѣющія соотвѣтствующія размѣренія пропорціональныя и сверьхъ того, одного рода. Поддержимъ ихъ съ двухъ концевъ. Стрѣлки дугъ, которыя они примутъ, по причинѣ собственнаго ихъ вѣса, будутъ прямо пропорціональны квадратамъ длинъ брусковъ. Слѣдовательно: *какова бы ни была величина сихъ брусковъ всѣ они будутъ имѣть одинъ и тотъ же радіусъ кривизны, по срединѣ ихъ.* Выводъ сей будетъ существовать и тогда, когда бруски обремѣнятся тяжестями соединенными или раздѣленными, но пропорціональными вѣсамъ сихъ брусковъ.

Таковый выводъ часто можно прилагать къ работамъ художествъ; поелику зданія, машины одного рода имѣютъ по обыкновенію всѣ ихъ основанія пропорціональныя. Если хотимъ сравнить два коробля, построенные изъ тѣхъ же матеріаловъ, и которыхъ частныя размѣренія пропорціональны размѣреніямъ сихъ кораблей, мы заключимъ оттуда, что *дуга кораблей должна имѣть въ точкѣ наибольшаго сгибанія, постоянный радіусъ кривизны, какова нибыла величина кораблей.*

Теперь очевидно, почему большіе корабли, отъемля всѣ прочія причины, имѣютъ при постоянной пропорціи гораздо большую дугу чѣмъ меньшіе, поелику стрѣлки дуги увеличиваются какъ квадратъ главныхъ размѣреній корабля. Итакъ, въ предложенномъ нами случаѣ, строеніе длиною почти въ 200 футовъ приметъ дугу въ $1\frac{1}{2}$ фута, а

Digitized by Google

маленькій карабликъ длиною въ $3\frac{1}{3}$ фута и подобный первому, получитъ для стрѣлки дуги три тысячи шесть сотыхъ сихъ $1\frac{1}{2}$ футовъ, вмѣсто шестидесятой: простое отношеніе длинъ.

Теперь приступимъ къ изъясненію *разрыванія* дерева.

Дерева сжимаются или вытягиваются только въ извѣстной степени, превышая которую они ломаются или разрываются.

Силы, которыя должно употребить чтобы превести дерева къ сей точкѣ разрыванія, никакаго неимѣютъ отношенія съ силами производящими сгибаніе онаго. Нѣкоторыя породы растѣній, весьма мало оказывая сопротивленія сгибанію, гораздо болѣе сопротивляются разрыванію: таковы суть между растѣніями конопля, а между деревами букъ, вязъ, ореховое дерево, ель, и проч.

Нѣкоторыя породы, напротивъ, болѣе противополагаютъ сопротивленія сгибанію и пропорціонально менѣе разрыванію, такъ напримѣръ кипарисъ и проч. составляющія второй классъ деревъ. Другіе наконецъ, въ одно время представляютъ большое сопротивленію сгибанію и разрыванію напримѣръ сосна, дубъ.

Сіи Физическія изслѣдованія весьма важны въ художествахъ: они опредѣляютъ пользу и употребленіе различныхъ родовъ растѣній, по потребнымъ условіямъ. Итакъ, прочныя зданія, которыхъ матеріалы должны оставаться неизмѣняемыми, требуютъ чтобъ части машинъ долженствующія выдерживать большія давленія были изъ твердыхъ и крѣпкихъ растѣній. Дубъ, въ семъ случаѣ преи-

Digitized by Google

мущественно употребленъ быть можетъ; потомъ дерева противополагающія болѣе сопротивленія сгибанію, каковы суть дерева втораго класса. Но сіи послѣднія лучше употреблять въ легкихъ работахъ, которыхъ главная цѣль состоитъ въ украшеніи, и которыя составляя удовольствіе роскоши, не имѣютъ достаточной силы для выдержанія давленій.

Наконецъ дерева перваго рода преимущественно должно употреблять въ тѣхъ работахъ, въ которыхъ упругость дерева составляетъ главное качество; для повозокъ всѣхъ родовъ, для земледѣльческихъ орудій, для корабельныхъ мачтъ, и проч.

Подвергая опытамъ и вычисленіямъ два рода силъ, коими обладаютъ большія растѣнія для препятствованія сгибанію или разрыванію, мы совершенно познаемъ свойства деревъ. Тогда при каждомъ обстоятельствѣ можно будетъ навѣрно опредѣлить какую породу дерева лучше употребить. Но таковой выборъ не столь легко основать какъ думаютъ, если прибѣгнуть по навыку къ несовершеннымъ и мало извѣстнымъ средствамъ.

Разсмотримъ силу дерева, сопротивляющуюся разрыванію. Возмемъ кусокъ дерева ACDF [фиг. 1] и согнемъ оный въ ABCDEF [фиг. 2], то наружное волокно ABC вытянется, а внутренное DEF укоротится. Начертимъ нѣкоторое число прямыхъ линій 11, 22, 33, ... перпендикулярно къ сторонѣ ACDF [фиг. 1], то какъ бы дерево не согнулось, линіи 11, 22, 33, ... останутся прямыми и перпендикулярными линіями къ сторонамъ ABC, DEF [фиг. 2]. Посему волокна дерева сгиба-

Digitized by Google

ясь не скользили одни по длинѣ другихъ; напримѣръ, вся часть волоконъ дерева въ пространствѣ 1221 [фиг. 1] есть таже что и въ пространствѣ 1221 [фиг. 2].

Наружныя, вытягивающіяся волокна и внутреннія укорачивающіяся, раздѣляются волокномъ MNO, которое не вытягивается и не укорачивается, почему и называется *неизмѣняемымъ волокномъ*.

Вытягиваніе волоконъ внѣ неизмѣняемаго волокна MNO, пропорціонально разстоянію ихъ до сего волокна. Укорачиваніе волоконъ внутри сего неизмѣняемаго волокна MNO, пропорціонально разстоянію оныхъ до сего волокна.

Мы уже вывели изъ сихъ началъ математическія свойства сопротивленія дерева при сгибаніи и разрываніи онаго.

Дерева одного свойства и одной силы, согнутыя по какой нибудь кривой линіи, ломаются когда ихъ наружное волокно достигаетъ извѣстнаго удлиненія, котораго отношеніе съ длиною сего волокна постоянно.

Положимъ, что кусокъ дерева согнутый по какому либо обводу, увеличиваетъ или уменьшаетъ толщину свою, не переставая имѣть обводъ сей направленіемъ его наружнаго волокна. Когда толщина куска дерева удвоится, утроится учетверится, и проч. то удлиненіе наружнаго волокна также удвоится, утроится, учетверится, и проч. Посему, если кривизна обвода ABC уменьшается въ томъ же отношеніи какъ толщина куска дерева увеличивается, степень удлиненія наружнаго волокна всегда останется одинаковою.

Digitized by Google

Согнувъ кусокъ дерева ABC [фиг. 3], поддерживаемаго двумя подпорками A и C, накоторое дѣйствуетъ сило F, равно удаленная отъ A и C, мы показали что радіусъ кривизны ABC, въ точкѣ B, посрединѣ сего обвода, пропорціоналенъ кубу разстоянія AC двухъ подпорокъ A и C.

При весьма малыхъ сгибаніяхъ радіусъ кривизны R, обвода ABC, пропорціоналенъ $\frac{AC^2}{GB}$, гдѣ GB есть стрѣлка обвода ABC. Итакъ $R = \frac{AC^2}{GB}$, а $GB = \frac{AC^2}{R}$.

Сверхъ того, сила F пропорціональна GB. Посему F пропорціональна также $\frac{AC^2}{R}$.

Но сила, необходимая для сгибанія, находится въ прямомъ отношеніи стрѣлки GB и въ обратномъ куба AC, разстоянія двухъ подпорокъ.

Посему, когда n будетъ постоянное число,

$$F = n.\frac{GB}{AC^3};\quad F \times AC = n\frac{GB}{AC^2}$$

Для другаго куска дерева abc (фиг. 3), равнымъ образомъ получимъ $r = \frac{ac^2}{gb}$ и $f \times ac = n.\frac{gb}{ac^2}$.

Въ точкѣ разрыванія, R долженствуя быть равнымъ r, надлежитъ чтобъ $\frac{AC^2}{GB} = \frac{ac^2}{gb}$, а слѣдовательно и $n \times \frac{GB}{AC^2} = n\frac{gb}{ac^2}$, посему $F \times AC = f \times ac$. То есть, *сгибая кусокъ дерева между двумя подпорками, которыхъ разстояніе измѣняется, оное переломится отъ дѣйствія силы, увеличиваю-*

Digitized by Google

щейся какъ разстояніе подпорокъ уменьшается, и обратно.

Взявъ въ соображеніе въ одно время толщину BE, равно какъ и разстояніе AC, при постоянномъ числѣ m, получимъ для силы производящей сгибаніе,

$$F = m.\ GB.\ \frac{BE^3}{AC^3} = m.\frac{GB}{AC^2}.\ \frac{BE^3}{AC}.$$

Когда дерева различныхъ толщинъ достигаютъ точки, производящей разрываніе, то радіусъ кривизны будетъ въ прямомъ отношеніи толщинъ кусковъ. Итакъ, когда p есть постоянное число $R = p \times BE$. Слѣд. $F = \frac{m}{p}.\ \frac{BE^2}{AC}$. Посему, *когда* AC, *разстояніе подпорокъ, неизмѣняется, то сила* F *производящая разрываніе будетъ въ отношеніи квадратовъ толщинъ.*

Свойства сіи суть общія для упругихъ параллелепипедовъ, ломающихся при весьма малыхъ сгибаніяхъ, изъ дерева, желѣза, мѣди, камня, и проч. Отсюда произходятъ важныя для промышленности слѣдствія.

Прежде дѣлались переводины, балки, стропила квадратными, но послѣ увидѣли, что гораздо выгоднѣе дѣлать ихъ въ горизонтальномъ положеніи тонкими, а въ вертикальномъ весьма широкими.

Сравнимъ, напримѣръ, двѣ перекладины равной длины между подпорками, имѣющія для ширины и толщины одна 1 и 9 [фиг. 5], а другая 3 и 3 [фиг. 6].

Сопротивленіе послѣдней будетъ пропорціонально ширинѣ оной 3 умноженной на 9 квадратъ сей ширины. Итакъ $3 \times 9 = 27$, изобразитъ сопроти-

Digitized by Google

вленіе, которое сія перекладина противоположитъ разрыванію. Сопротивленіе, противополагаемое разрыванію плоскою и равнаго объема перекладиною, будетъ пропорціонально 1×9×9=81. Посему плоская перекладина въ трое сильнѣе квадратной.

Всякой разъ, когда отдѣльныя части изъ дерева, желѣза, и проч., зданія или машины, должны сопротивляться сгибанію, слѣдовательно и разрыванію, по опредѣленному направленію, должно давать имъ сколь возможно большую толщину по сему направленію, на счетъ широты въ перпендикулярномъ направленіи.

Когда должно доставить сопротивленіе сгибанію или разрыванію, по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ, соединяютъ силу съ экономіею, помощію употребленія формъ, которыхъ профиль имѣетъ изображеніе креста [фиг. 7] или I [фиг. 8], основанія сіи находятъ множество приложеній, при построеніи машинъ, какъ изъ дерева такъ и изъ металловъ.

Положимъ теперь, что употреблены бруски круглой фигуры. Такъ какъ сопротивленіе пропорціонально широтѣ и квадрату толщины, слѣдовательно діаметру умноженному на квадратъ діаметра *полныхъ*, круглыхъ цилиндровъ.

Пустые цилиндра предлагаютъ большія выгоды при сопротивленіи разрыванію, по причинѣ щастливаго разположенія ихъ формы. Природа представляетъ намъ въ примѣръ множество подобныхъ цилиндровъ, вездѣ гдѣ она имѣетъ надобность производить большія сопротивленія, употребляя при ономъ возможно меньшее количество матеріи.

Digitized by Google

Перья птицъ суть пустые цилиндры въ той части, которая выдерживаетъ, какъ малое плечо рычага, все сопротивленіе весьма сильныхъ мускуловъ, опредѣленныхъ приводить въ движеніе крылья.

Промышленность возпользовалась симъ свойствомъ. Дѣлаютъ изъ чугуна пустыя колонны, которыя кромѣ той выгоды, что равно повсюду сопротивляется, соединяютъ еще силу съ легкостію, гораздо болѣе нежели когдабы онѣ были одного вѣса и сплошныя.

Digitized by Google

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ.

О сраженіи тѣлъ.

Мы разсматривали нечувствительныя сопротивленія, противополагаемыя при каждомъ мгновеніи движенію тѣлъ, одно къ другому касающихся и трущихся. Надлежитъ теперь разсмотрѣть другой родъ сопротивленія, который бываетъ тогда, когда два движущіяся тѣла, раздѣленныя промежуткомъ, вдругъ встрѣтятся. Сопротивленіе сего рода называется *сраженіемъ* или *соударенiемъ*.

Всѣ тѣла природы, будучи отдѣльны и подвержены дѣйствію одной или многихъ силъ, повинуются симъ силамъ одинаково. Ежели тѣла имѣютъ одну массу, то пріобрѣтаютъ одну и туже скорость, когда будутъ побуждаемы къ движенію равными силами.

Но когда два тѣла встрѣчаются, то они могутъ представить весьма различныя явленія, происходящія отъ ихъ сраженія.

Одни только твердыя тѣла могутъ при сраженіи сохранять свою первоначальную форму, мягкія же измѣняютъ фигуру свою или отъ сраженія или отъ простаго давленія.

Раздѣляя различныя части мягкаго тѣла помощію давленія или удара, чувствуютъ всегда большее или меньшее сопротивленіе. При раздѣленіи различныхъ частей жидкаго тѣла, нечув-

Digitized by Google

ствуютъ такъ сказать никакого рода сопротивленія.

Наконецъ, есть тѣла, какъ напр. атмосферическій воздухъ и газы всякаго рода, требующіе искуственнаго сжатія дабы различныя части оныхъ взаимно не отталкивались бы, и не отдалялись бы однѣ отъ другихъ на количество, котораго предѣлы намъ неизвѣстны.

Возвратимся къ первому роду тѣлъ, нами означенныхъ. Между твердыми тѣлами нѣкоторыя даже ни на минуту не измѣняютъ формы своей, таковыя можно назвать *совершенно твердыми*. Нѣкоторыя мгновенно принимаютъ измѣненіе, которое послѣ тотчасъ изчезаетъ, такія тѣла называются *совершенно упругими*. Наконецъ, третій родъ тѣлъ отчасти только принимаетъ фигуру, которую имѣли до удара или давленія; тѣла сіи именуются *мягкими* и *несовершенно упругими*.

Для большей простоты положимъ, что только два тѣла A и *a* (фиг. 1) движутся по прямой линіи G*g*, проходящей чрезъ центры тяжести G и *g* сихъ тѣлъ, и что въ минуту сраженія, ихъ точка прикосновенія C находится на сей прямой линіи GC*g*.

Въ минуту сраженія, силы, которыя приложены къ двумъ тѣламъ, дѣйствуя по направленію одной и той линіи GC*g*, будутъ имѣть равнодѣйствующею ихъ сумму или разность, смотря потому направлены ли онѣ по одному или по обратнымъ направленіямъ.

Если два тѣла имѣютъ равныя массы и одну и туже противуположную скорость, то они будутъ въ равновѣсіи, поелику движущія силы будучи съ

Digitized by Google

той и другой стороны равныя, даютъ разность ихъ равную *нулю*.

Положимъ, что два тѣла различаются массою или скоростію. Поелику еденица силы изображается пространствомъ, которое она заставляетъ пробѣгать единицу массы, въ единицу времени, то для всего числа, представляющаго движущую силу тѣла, получимъ число единицъ массы его составляющихъ, умноженное на число единицъ пространства, которое онѣ пробѣгаютъ въ продолженіи единицы времени.

Напримѣръ, если возмемъ за единицу силы ту, которая можетъ перенести одинъ фунтъ на разстояніе одного аршина, въ продолженіи одной секунды; мы увидимъ что сила, которая въ тоже время переноситъ десять фунтовъ на одинъ аршинъ, или одинъ фунтъ на десять аршинъ, въ десять разъ ее болѣе; равнымъ образомъ увидимъ что сила, которая въ тоже время заставляетъ десять фунтовъ пробѣгать десять аршинъ, будетъ во сто разъ болѣе оной, проч.

Означая такимъ образомъ движущую силу тѣлъ, имѣющихъ единообразное движеніе, произведеніемъ ихъ вѣса на пространство переходимое въ единицу времени, то есть, произведеніемъ изъ вѣса ихъ на скорость, получимъ то, что называютъ *количествомъ движенія тѣлъ*.

Если назовемъ чрезъ M и m массы тѣлъ G и g, чрезъ V и v ихъ скорости, получимъ количество движеній ихъ MV и mv, то есть скорости ихъ движущія; означимъ MV чрезъ Q и mv чрезъ q.

Если два тѣла движутся въ обратныя сторо-

Digitized by Google

ны, то разность движущихъ силъ $= MV - mv$ будетъ сила движущая массу $M + m$.

Поелику сія сила равна массѣ умноженной на скорость, то скорость равна силѣ раздѣленной на массу. Посему скорость, съ которою два тѣла будутъ двигаться есть $\frac{MV - mv}{M + m} = \frac{Q - q}{M + m}$.

Въ испытываемомъ нами дѣйствіи сраженія, все количество движенія до сраженія было $MV + mv$, послѣ же сраженія оно будетъ только $MV - mv$; посему количество сраженія потѣрянное при сраженіи равно $2mv$. Итакъ, когда два тѣла направленныя въ обратныя стороны должны сразиться, если только тѣла сіи не будутъ упругія, то если опредѣлить количество движенія каждаго изъ оныхъ, количество движенія уничтоженное сраженіемъ, равно удвоенному меньшему изъ двухъ количествъ движеній.

Посему, чтобы въ ходѣ машинъ не потерять никакой силы, должно чтобы между различными частями сихъ машинъ, которыхъ движенія направлены въ обратныя стороны, непроизводилось никакаго сраженія. Сіе есть общее правило, которое никогда не должно упускать изъ вида при построеніи машинъ и въ ходѣ оныхъ. Всякой выступъ, всякое внезапное движеніе имѣетъ двойную невыгоду, въ мигъ уменьшать количество движенія и повреждать прочность машины.

Если два тѣла движутся въ одну сторону, то въ минуту сраженія, сила движущая массу $M + m$ будетъ $MV + mv$, а скорость, съ которою два тѣ-

Digitized by Google

ла будутъ двигаться будетъ $\frac{MV+mv}{M+m}=\frac{Q+g}{M+m}$.

Сдѣлаемъ явственнымъ, помощію приложенія, сей способъ опредѣлять разпредѣленіе силъ при сраженіи твердыхъ тѣлъ. Положимъ, что тѣло G имѣетъ массу изображенную 3 фунтами, а тѣло g массу представленную 1 фунтомъ. Положимъ еще, что G пробѣгаетъ два аршина въ секунду, между тѣмъ какъ g пробѣгаетъ только одинъ аршинъ; количество движенія G, будетъ $MV=3\times2=6$, а g будетъ $mv=1\times1=1$.

Положивъ сіе, если два тѣла движутся въ обратныя стороны, получимъ $MV-mv=6-1=5$, и $M+m=3+1=4$. Посему, наконецъ, общая скорость двухъ тѣлъ послѣ сраженія будетъ $\frac{5}{4}$, то есть, что каждое изъ двухъ тѣлъ, послѣ сраженія, пробѣжитъ $\frac{5}{4}$ аршина въ секунду. Если меньшее тѣло имѣетъ скорость 6 аршинъ въ секунду, то будетъ $mv=1\times6=6$. Тогда, $MV=mv$, и $MV-mv=0$; слѣдовательно произойдетъ равновѣсіе.

Если захотятъ вдругъ нарушить движеніе тѣла, то оное можно произвести тремя способами: 1. бросая на встрѣчу ему другое тѣло, одинаковой массы и скорости: 2. бросая съ большею скоростію болѣе легкое тѣло; 3. бросая съ меньшею скоростію тѣло болѣе тяжелое.

Въ работахъ художествъ безпрестанно представляются намъ примѣры сихъ различныхъ родовъ равновѣсія, получаемыхъ дѣйствіемъ сраженія, помощію палки, молота, и проч., менѣе тяжелыми относительно массы неодушевленнаго предмета или животнаго, на насъ стремящагося. Упо-

Digitized by Google

требляя гораздо большую скорость мы можемъ совершенно остановить движеніе животнаго или предмета, часто даже заставить его попятиться назадъ или упасть. Такимъ образомъ видимъ иногда дитя, которое на быстромъ бѣгу опрокидываетъ большаго человѣка, гораздо болѣе его тяжелаго, но медленно идущаго. Такимъ образомъ легкой экипажъ, но движущійся съ большою скоростію, опрокидываетъ дѣйствіемъ сраженія, экипажъ болѣе тяжелый, но медленно движущійся.

Изъ сихъ законовъ сраженія, военныя искуства вывели весьма важныя слѣдствія. Мы удовольствуемся описаніемъ одного изъ оныхъ (*).

(*) При кавалерійскихъ атакахъ образуютъ массы въ одинъ или два ряда. Массы сіи заставляютъ итти впередъ съ возрастающею скоростію до тѣхъ поръ, пока онѣ ударятъ массы стоящей противъ нихъ кавалерій или пѣхоты. Посмотримъ теперь что здѣсь произойдетъ.

Сторона или масса, то есть, сумма вѣса лошадей, сбруй, кавалеристовъ и ихъ оружій, умноженная на скорость, представляетъ наибольшее количество движенія, необходимо преимуществуетъ и сообщаетъ двумъ тѣламъ, атакующему и атакованному, количество движенія равное разности количествъ движеній, раздѣленной на сумму массъ.

Положимъ, что атакуемое тѣло дожидается въ покоѣ атакующаго. Количество движенія атакуемаго тѣла равно массѣ его умноженной на скорость, которая теперь равна *нулю*, то сіе количество движенія будетъ равно нулю и никогда не можетъ уравновѣсить количество движенія атакующаго тѣла.

Опытность постоянно доказываетъ, что кавалерія составленная изъ лошадей и людей сильныхъ и тяжелыхъ, не можетъ выдержать, стоя на мѣстѣ, натиска легкой кавалеріи. Но принявъ посредственную скорость, она можетъ уравновѣсить и даже опрокинуть оную, которая несется къ ней съ большею скоростію. Итакъ, весь секретъ кавалерійской атаки состоитъ въ полученіи, въ минуту натиска, возможно большей

Digitized by Google

Мы до сихъ поръ разсматривали сражающіяся тѣла какъ матеріальныя точки. Принявъ въ со-

---

степени скорости. Посмотримъ какимъ способомъ можно онаго достигнуть.

Составъ движеній тѣлъ въ минуту сраженія зависитъ только отъ массы и скорости оныхъ въ сію минуту. Какова бы ни была сія скорость въ началѣ, достаточно чтобы въ минуту сраженія она оставалась тоюже, дабы произвести тоже дѣйствіе. Напримѣръ, если я хочу остановить движеніе тяжелаго тѣла, падающаго изъ C въ P (фиг. 2), съ ускорительною скоростію, то мало нужды въ минуту когда оно достигаетъ точки P, до скорости которую имѣло въ $p, p', p'', \ldots$, если оно имѣетъ тоже количество движенія въ сей точкѣ P, какъ будто было движимо своею окончательною скоростію, вмѣсто того чтобы начать съ нечувствительною скоростію, постепенно увеличивающеюся. Итакъ ударъ бабы по сваѣ есть тотъ же, какъ будто баба имѣла всегда туже скорость что и въ минуту удара.

Посему при сраженіи можно соблюсти большое сбереженіе силъ, начиная медленныхъ движеніемъ и постепенно увеличивая скорость: такъ чтобы достигать наибольшей скорости только въ минуту сраженія.

Вотъ тоже сбереженіе силъ, производимое при кавалерійскихъ атакахъ. Проѣзжаютъ шагомъ или малою рысцою большую часть разстоянія, которое пройти должно до натиска; другую остающуюся часть большою рысью; потомъ галопомъ; наконецъ, послѣднюю часть во вѣсь галопъ, какъ только могутъ скакать лошади не переставая двигаться вмѣстѣ, дѣлая собраніемъ своимъ какъ будто одну массу.

Тогда ударъ будетъ такой совершенно, какой былъ бы онъ, если лошади съ самаго начала имѣли туже скорость, которую онѣ достигли въ концѣ. Но онѣ никогда не могутъ проскакать большое пространство съ такою быстротою, и сіи изнуренныя лошади будутъ неспособны къ новымъ усиліямъ.

Сіе приложеніе законовъ сраженія тѣлъ къ движеніямъ кавалеріи, кажется весьма очевидно; кажется самый обыкновенный умъ можетъ удобно понять его. Однако надлежало пройти вѣкомъ до открытія онаго.

Римляне воевали триста лѣтъ пока узнали все вліяніе скорости лошадей на силу удара, который можетъ про-

Digitized by Google

ображеніе ихъ протяженіе и фигуру, посмотримъ что произойдетъ отъ ихъ равновѣсія и движенія.

Положимъ что два тѣла M и *m* (фиг. 3), движутся въ одну или въ обратныя стороны, понаправленію прямой *Gg*, проходящей чрезъ ихъ центры тяжести. Наконецъ, положимъ что въ точкахъ C и *c*, на *Gg*, поверхность двухъ тѣлъ перпендикулярна къ *Gg*; то сила, съ которою тѣло *m* ударитъ тѣло M, будетъ уничтожена поверхностію M; обратно, сила съ которою тѣло M поразитъ тѣло *m*, будетъ уничтожена поверхностію *m*: если два тѣла имѣютъ тоже количество движенія.

Теперь положимъ [фиг. 4], что поверхности двухъ тѣлъ наклонны относительно *Gg*, но параллельныя въ C и *c* на *Gg*, прямой соединяющей центры тяжестей M и *m*.

Фигура 5 представляетъ сіи тѣла въ прикосновеніи въ минуту сраженія. Пусть AC и *a*C будутъ

извести кавалерія. Напротивъ, помощію хорошаго приложенія сего легкія лошади Нумидійцевъ опрокидывали тяжелую кавалерію Римлянъ.

Посему то, наконецъ, какъ малая скорость сей послѣдней кавалеріи лишила ее существеннаго качества, Римскіе всадники, во многихъ случаяхъ, предпочитали спѣшившись сражаться со всѣмъ количествомъ движенія, которое могутъ произвести въ данное время отборные люди необремененные походомъ.

У новѣйшихъ вы найдете даже въ послѣднемъ вѣкѣ, тоже невѣденіе законовъ сраженія тѣлъ, приложенныхъ къ движеніямъ кавалеріи, и превосходныя побѣды Фридриха II обязаны счастливому приложенію сихъ законовъ.

Законы сіи равномѣрно можно приложить и къ сраженіямъ пѣхоты и армій вообще, наипаче въ системѣ войны большими массами; но здѣсь не мѣсто распространяться о сихъ приложеніяхъ, они относятся къ военнымъ училищамъ.

Digitized by Google

двѣ части линіи G*g*, представляющія количества движеній M и *m*. Проведемъ B*Cb*, перпендикулярно къ общему направленію поверхностей M и *m*, въ C; потомъ AB и *ab*, перпендикулярно къ B*Cb*.

Послѣ сраженія: 1 сіи два тѣла M и *m*, будутъ двигаться по прямой линіи, въ сторону G*g*, съ общею скоростію $\frac{AC+aC}{M+m}$; 2. M и *m* обернутся около ихъ центровъ тяжести со скоростію относительно равною CB—*cb* и *cb*—CB, раздѣленною на моментъ инерціи M и *m*.

Изъ сего видно, что два тѣла послѣ сраженія отдѣляются, когда ихъ поверхности не будутъ перпендикулярны къ прямой проходящей чрезъ центры тяжести.

Случай болѣе сложный [фиг. 6] будетъ тогда, когда точка прикосновенія двухъ тѣлъ, въ минуту сраженія, не будетъ на прямой G*g* соединяющей ихъ центры тяжести.

Разсмотрѣвъ обстоятельства сраженія въ томъ случаѣ, когда два тѣла находятся на одной прямой линіи, раждается вопросъ, какія будутъ обстоятельства сраженія, если два тѣла будутъ направлены по линіямъ, составляющимъ нѣкоторый уголъ и встрѣчающимся въ точкѣ A [фиг. 7]. Пусть P и Q будутъ двѣ силы представляющія количества движенія тѣлъ. Построивъ параллелограмъ ABDC, коего стороны AB и AC, пропорціональны силамъ P и Q, діагональ AD будетъ представлять количество движенія двухъ тѣлъ, встрѣчающихся въ A, и общее направленіе сихъ тѣлъ, по которому они будутъ слѣдовать послѣ сраже-

Digitized by Google

нія, если только они не будутъ упруги. Итакъ, назвавъ чрезъ M и m массы сихъ тѣлъ, ихъ скорость послѣ сраженія, изобразится чрезъ $\frac{AD}{MV+mv}$. гдѣ AD представляетъ количество движенія.

Законы сообщенія движенія будутъ тѣже, если тѣла, вмѣсто того чтобы двигаться по прямой линіи, каждое изъ нихъ будетъ слѣдовать по одной и той же непрерывной кривой линіи. Въ самомъ дѣлѣ, въ безконечно малое время, предшествуемое сраженію, сіи тѣла пробѣгаютъ пространство, сливающееся съ малою прямою линіею, касательною къ кривой въ той точкѣ, въ которой производилось сраженіе.

Итакъ, напримѣръ, если я возьму два равной длины простые маятника P и p (фиг. 8), какія бы массы ихъ не были, то законы сраженія будутъ тѣже, когда бы они ударились въ положеніи, въ которомъ обѣ нитки вертикальны; поелику тѣла P и p достигаютъ сего положенія когда одно пробѣжитъ QP, а другое qp, касательныя въ точкахъ P и p, къ одной и той же прямой Tt.

Если поднимемъ на одинаковыя высоты въ Q и q, равныя массы P и p, то онѣ въ равныя времена, съ равными скоростями низойдутъ въ положеніе P и p, гдѣ и сразятся; но здѣсь, массы умноженныя на скорости съ той и другой стороны равны между собою; посему произойдетъ ровновѣсіе и тѣла сіи послѣ сраженія не будутъ двигаться.

Если одна изъ массъ будетъ больше другой, то-

Digitized by Google

гда произойдетъ движеніе въ сторону большей массы, по закону, данному формулой $\frac{MV-mv}{M+m}$.

Положимъ, что тѣло M [фиг. 9], имѣющее центръ тяжести въ точкѣ G, вращается около оси, означенной точкою C; мы доказали въ VII Главѣ, что существуетъ другая точка *c*, на продолженіи прямой CG таковая, въ которой всегда можно сосредоточить массу тѣла M, и которая можетъ имѣть все количество движенія тѣла, не измѣняя чрезъ то угловой скорости онаго. Положимъ, что тѣла M въ движеніи своемъ встрѣчаетъ препятствіе *m* и что въ точкѣ A гдѣ тѣло встрѣчаетъ сіе сіе препятствіе: 1) поверхность тѣла и препятствія перпендикулярны къ линіи *c*A, перпендикулярной къ *c*C. Движеніе тѣла нарушится препятствіемъ, предполагаемымъ неподвижнымъ. И такъ тѣло останется въ покоѣ отъ дѣйствія удара даже тогда какъ въ минуту сраженія ось C перестанетъ быть неподвижною. Тогда C называется *центромъ удара*.

Если неподвижное препятствіе, котораго сопротивленіе изображается чрезъ F, таково что разстояніе CD будетъ болѣе C*c* [фиг. 10], или менѣе онаго [фиг. 11], тогда ось вращенія отъ дѣйствія сраженія будетъ испытывать сопротивленіе.

Тѣло M, побуждаемое силами F и *f*, стрѣмится сгибаться или изломаться между C и D [фиг. 10]; между C и *c* [фиг. 11]. По равновѣсію параллельныхъ силъ получимъ, $f \times Cc = F \times CD$.

Сверьхъ того, дѣйствіе F′, испытуемое осью по

Digitized by Google

причинѣ сраженія, равно $f-F=$ [фиг. 10] и $F-f$ [фиг. 11].

И такъ, всякой разъ когда сраженіе производится по прямой AF, которая отстоитъ отъ C, не наразстояніе $=Cc$, то неподвижная ось C испытуетъ сопротивленіе сраженія. Если CD [фиг. 10] гораздо болѣе Cc, то сопротивленіе сраженія толкаетъ неподвижную ось въ сторону, обратную вращенію тѣла M. Если CD менѣе Cc, то сопротивленіе сраженія толкаетъ неподвижную ось въ одну сторону съ вращеніемъ тѣла M. Сіи выводы непосредственно прилагаются къ работамъ художествъ.

Часто употребляютъ *молотки* и *молоты*, которымъ сообщаютъ вращательное движеніе для произведенія ударовъ. Дабы ось C [фиг. 12] молотка, послѣ удара не испытывала никакого отпора, должно чтобъ всѣ условія фигуры 9 были исполнены

И такъ, если m есть тѣло положенное на наковальню, и A точка въ которую ударяетъ молотъ, то прямая AF перпендикулярная въ точкѣ A къ поверхности молота, должна проходить чрезъ центръ удара c, а прямая Cc перпендикулярна къ Ac.

Когда работникъ дѣйствуетъ молоткомъ (фиг. 13), и если всѣ сказанныя нами условія не будутъ выполнены, то рука будетъ чувствовать подобный отпоръ, а иногда даже и болѣзненный. Если точка гдѣ производится ударъ находится весьма близко или весьма далеко отъ оси вращенія молотка, то рука отталкивается въ обратную сторону, или побуждается въ сторону сообщаемаго движенія.

Digitized by Google

Прямое сраженіе тѣлъ употребляютъ для приведенія въ движеніе маятника, который долженъ качаться около оси. Таково дѣйствіе производимое въ опытахъ съ *балистическимъ маятникомъ*.

Вообразите кусокъ дерева M (фиг. 14), окованнаго желѣзными обручами и повѣшенное на желѣзныхъ прутьяхъ, параллельныхъ оси C.

Выстрѣливаютъ пулею *m* въ маятникъ M, стараясь чтобъ линія полета была въ направленіи прямой, проходящей чрезъ центръ ударенія *c*. Исполнивъ сіе никакой отпоръ не производится на ось вращенія C, и угловая скорость маятника равна $m \times Cc$, раздѣленной на моментъ инерціи маятника.

Зная моментъ инерціи маятника, массы M, *m* и разстояніе *Cc*, выводятъ помощію весьма простаго дѣйствія изъ скорости M, скорость *m* въ минуту удара. Таково средство употребляемое для измѣренія съ величайшею точностію скорости верженныхъ тѣлъ, опредѣленіе весьма важное для баллистики.

Мы видѣли, что когда силы дѣйствуютъ въ обратныя стороны, то всегда происходитъ уничтоженіе силъ. Посему, чтобы не потерять силъ. что требуется почти во всѣхъ машинахъ, должно сколь возможно стараться избѣгать въ сихъ машинахъ ударовъ, производимыхъ въ обратныя стороны.

По той же причинѣ, должно избѣгать такихъ треній, которыя производятъ дерганья, отпоры, при чемъ обыкновенно случаются вредныя ударенія. Поелику таковыя ударенія обнаруживаются трескомъ и вышибомъ частей, должно заключить

Digitized by Google

что совершеннѣйшія машины суть тѣ, которыхъ движенія производятся правильно, тихо, безъ шуму и колебанія.

Въ зубчатыхъ колесахъ также должно стараться, чтобы непроизходили удары.

Положимъ (фиг. 15), что въ ту минуту когда зубецъ D колеса O, толкая зубецъ *d* колеса *o*, удаляется отъ онаго, то зубецъ D недостигаетъ еще зубца *d* шестерни; тогда шестерня сія содѣлается свободною и если на нее будетъ дѣйствовать какая либо сила, она приметъ возвратное движеніе, пока зубецъ *d* не встрѣтитъ D. Посему здѣсь произойдетъ ударъ и нѣкоторое количество движенія потеряется. Должно принять за общее правило, чтобы зубецъ D достигалъ *d*, прежде раздѣленія зубцевъ D и *d*.

Я представлю здѣсь наблюденія сдѣланныя мною о малыхъ соудареніяхъ, произходящихъ въ корабляхъ отъ ходкости ихъ. Когда корабль находится въ покоѣ, тогда его нижняя часть тѣмъ не менѣе испытываетъ сжиманіе, а верхняя вытягиваніе. Дѣйствіе сихъ перемѣнъ стремится: 1] вытянуть или сжать волокна дерева; 2) уничтожать связь строенія; 3) согнуть или сломать гвозди и болты, связывающія различныя части.

По мѣрѣ увеличиванія моментовъ разрушительныхъ силъ, увеличиваются и дѣйствія сіи. Но потомъ, они уменьшаются въ томъ же отношеніи, когда моменты сіи уменьшаются; поелику сказанныя нами измѣненія произходятъ въ тѣлахъ несовершенно упругихъ.

И такъ, когда уменьшается переломъ киля, гво-

Digitized by Google

зди и болты разтягиваются, но весьма мало; раздѣленныя части соединяются только отчасти, вытянутыя волокна не довольно сжимаются и согнутыя волокна совсѣмъ не принимаютъ всей первоначальной длины ихъ. Посему, тѣсная связь между частями строенія рушится. Таковой недостатокъ связи произходятъ отъ дѣйствія особенной силы.

Разслабленіе сихъ частей корабля позволяетъ каждой изъ оныхъ принять нѣкоторое свободное движеніе. Собраніе сихъ малыхъ движеній называется *ходкостію* строенія.

Положимъ что строеніе, имѣя ходкость въ различныхъ частяхъ, будетъ побуждаемо нѣкоторыми разрушительными силами; при первомъ дѣйствіи онѣ будутъ стрѣмиться передвинуть частицы сего строенія, потому направленію, которое онѣ могутъ принять по ихъ ходкости. Частицы сіи первому сему перемѣщенію противуполагаютъ только одно сопротивленіе ихъ инерціи. До тѣхъ поръ количество живыхъ силъ, которыми обладаетъ система, ни чѣмъ не нарушивается. Но каждая частица, принимая таковое перемѣщеніе пріобрѣтаетъ нѣкоторую скорость. Коль скоро она встрѣчаетъ сопротивленіе другихъ частей системы, сія скорость производитъ сраженіе.

Посему не отъ одного только простаго давленія частицы строенія дѣйствуютъ однѣ противъ другихъ, дабы вытянуться или укоротиться. Соударенiе ужасно увеличиваетъ способность разрушительной силы. Почему ходкость частей должна безпрестанно увеличиваться и производить дѣйствія болѣе и болѣе опасныя.

Digitized by Google

Соударенія, о которыхъ мы говорили впечатлѣваются такъ сказать нечувствительною скоростію, когда они произходятъ отъ медленныхъ измѣненій производимыхъ въ нагрузкѣ корабля, но они сильны и быстры въ возмущеніяхъ, производимыхъ силами природы.

Къ разположенію строенія кораблей не должно присоединять тѣхъ мыслей, которыя можно образовать о разположеніи строенія, основаннаго на не подвижной пошвѣ, и того что никакая разрушительная сила не присоединяетъ дѣйствія своего къ дѣйствію тяжести частицъ сего самаго строенія. Должно наипаче разсматривать корабль, когда онъ плаваетъ по морю болѣе или менѣе колеблемому, когда онъ подвергается болѣе или менѣе сильнымъ вѣтрамъ, болѣе или менѣе постояннымъ, болѣе или менѣе суровымъ.

Тогда найдено, что моменты, стрѣмящіеся такъ сказать, безпрестанно измѣнять переломъ киля, содѣлываются къ кормѣ и къ носу, попеременно положительными и отрицательными. Посему, корабль колеблемый моремъ и вѣтрами должно разсматривать какъ насѣкомое, которое плавая по морю сгибается и разгибается безпрестанно въ вертикальной плоскости своего пути; и идетъ впередъ, образуя такимъ образомъ излучистую линію.

Законы сраженія твердыхъ тѣлъ, лишенныхъ упругости суть тѣже какъ и легкихъ тѣлъ, и измѣненіе испытуемое различными частями оныхъ ни чѣмъ не вредитъ составленію движенія, въ минуту удара. Не то бываетъ при сраженіи упругихъ тѣлъ.

Digitized by Google

Когда два совершенно упругія и равныхъ массъ тѣла встрѣчаются, съ тою же скоростію, то вмѣсто того чтобы быть въ равновѣсіи и остаться въ покоѣ, каждое изъ оныхъ, не только уничтожитъ силу другаго, но передастъ ему свою силу. Слѣдовательно, оба будутъ двигаться съ тою скоростію, которую они имѣли до сраженія и количества движеній отъ сего неизмѣнятся. Сіе свойство упругихъ тѣлъ при равныхъ массахъ и скоростяхъ, существуетъ и тогда, когда сіи массы и скорости измѣнятся; такъ что сумма количествъ движенія, до сраженія ихъ и послѣ онаго остается всегда одна и таже.

Представимъ нѣкоторыя приложенія сего закона. Положимъ, что тѣло A [фиг. 16] въ покоѣ находящееся, будетъ сражено тѣломъ B, имѣющимъ туже массу M, со скоростію V. Количество движенія тѣла A есть *нуль*, а тѣла B есть MV, слѣдовательно количество движенія обоихъ будетъ также MV. Тогда B сообщитъ тѣлу A все количество движенія MV, но A можетъ сообщить тѣлу B количество движенія равное *нулю*. Слѣдовательно B, потеряетъ все свое количество движенія и останется въ покоѣ; между тѣмъ какъ A принявъ все количество движенія тѣла B, имѣя равную массу, будетъ двигаться съ тою скоростію, которую имѣло тѣло B.

Положимъ, что будутъ три равныхъ массъ упругія тѣла [фиг. 17] A, B и C, изъ коихъ одно только C находится въ движеніи. Тогда C ударивъ B и сообщивъ ему все свое количество движенія останется въ покоѣ; а B, сообщивъ также тѣлу

Digitized by Google

А все сіе количество движенія, останется въ покоѣ. По сему, наконецъ, А будетъ двигаться со всѣмъ количествомъ движенія, которое имѣло тѣло С.

Тотъ же результатъ получится если бы были четыре, пять, и т. д., равныхъ тѣлъ, изъ коихъ одно послѣднее находится въ движеніи; послѣ сраженія, всѣ промежуточныя тѣла какъ и послѣднее, останутся въ покоѣ; между тѣмъ какъ одно первое будетъ двигаться со всѣмъ количествомъ движенія послѣдняго.

Сія механическая истина дѣлается очевидною, помощію шариковъ изъ слоновой кости А, В и С [фиг. 18], повѣшенныхъ на ниточкахъ, образующихъ такимъ образомъ родъ маятниковъ:

1. Если отдалимъ два шара, одинъ направо а другой налѣво отъ вертикальной линіи, проведенной чрезъ точку привѣса и потомъ отпустивъ въ одно время, они достигнутъ вертикальной линіи въ одно время, съ одинаковою скоростію; потомъ будутъ продолжать путь съ сею же самою скоростію.

Еслибы слоновая кость была совершенно упруга и если бы дѣйствіе производилось въ безвоздушномъ пространствѣ, то шары сіи поднимались бы совершенно на ту высоту, съ которой они падали; потомъ, падая снова они сразилась бы съ тою же скоростію; такимъ образомъ они продолжали бы вѣчно качаться. Но слоновая кость есть тѣло несовершенно упругое. Въ природѣ нѣтъ такихъ тѣлъ, которыя бы совершенно обладали симъ свойствомъ. Посему шары послѣ каждаго соударенія

Digitized by Google

поднимаются менѣе и менѣе; въ концѣ нѣкотораго числа качаній, ихъ количество движенія совершенно уничтожится.

2. Если повѣсимъ три таковыхъ шара, которые натурально между собою касаются, и поднявъ первый A на высоту P [фиг. 18], потомъ оставимъ его упасть. Въ то самое время средній шаръ B останется въ покоѣ, а послѣдній C поднимется въ Q на высоту точки P. Потомъ онъ упадетъ и сообщитъ свое движеніе чрезъ B, шару A, который поднясь въ P снова спустится какъ и въ первый разъ, и т: д: Подобный же результатъ выходитъ при четырехъ, пяти, шести, и вообще при всякомъ другомъ числѣ шаровъ.

Недостаточно разсматривать одно только прямое сраженіе тѣлъ, должно опредѣлить законы ихъ *косвеннаго сраженія.*

Дабы вопросъ сей сдѣлать сколь возможно проще, положимъ что одно изъ двухъ тѣлъ неподвижно и плоско, а другое есть шаръ. Въ то время, когда шаръ S [фиг. 19] толкаемый косвенно силою AO, встрѣчаетъ въ точкѣ C неподвижную плоскость, онъ будетъ стрѣмиться вращаться около точки C, со скоростію $AO \times CF$, гдѣ CF перпендикулярна къ AOF. Составимъ прямоугольникъ AHOK, котораго стороны OK и AH параллельны плоскости MN, а стороны AK и OH перпендикулярны къ сей плоскости.

Разложивъ силу AO на OH и OK, если шаръ и плоскость суть тѣла неимѣющія упругости, останется только одна OK; а сила OH, представляющая давленіе шара на плоскость будетъ уни-

Digitized by Google

чтожена сею плоскостію. Шаръ, побуждаемый силою OK паралельною плоскости MN, будетъ двигаться производя на плоскость MN треніе отъ давленія OH. Въ XIII главѣ показано какимъ образомъ опредѣлить дѣйствія сего тренія.

Треніе препятствуетъ шару скользить подлинѣ MN; онъ будетъ катиться по сей плоскости, подобно тому какъ колесо катится по землѣ; но если плоскость по всюду равно гладка, то сопротивленіе тренія останется однимъ и тѣмъ же при одномъ давленіи OH.

Если бы тѣло небыло шаровидное, тогда оно катилось бы по сей плоскости, но такимъ образомъ, что его центръ тяжести поперемѣнно, то поднимался бы, то опускался бы; отъ сего произойдутъ неравныя сопротивленія, болѣе или менѣе сложныя, о которыхъ достаточно здѣсь только упомянуть.

Сіи неравныя сопротивленія показываютъ намъ, что для правильной передачи по длинѣ плоскости непрерывныхъ усилій, должно всегда употреблять тѣла, имѣющія круглыя обводы, каковы суть шары, цилиндры, конусы и вообще поверхности вращенія.

Если вмѣсто твердаго тѣла, оно будетъ мягкое, тогда вопросъ сдѣлается сложнѣе. Тогда надлежитъ еще знать форму, которую мягкое тѣло приметъ послѣ сраженія. Хорошо, что случай сей имѣетъ въ механическихъ искусствахъ мало нужныхъ приложеній.

Не то бываетъ при сраженіи упругихъ тѣлъ. Когда тѣло A совершенно упругое [Фиг. 20], уда-

Digitized by Google

ряется о плоскость MN, то сила AO побуждающая его къ оному, разложится на двѣ другія: на OH, дѣйствующую параллельно къ плоскости MN и на OK, дѣйствующую параллельно сей плоскости. Сила сія не встрѣчая препятствія будетъ продолжать дѣйствовать послѣ сраженія. Посему, тѣло будетъ двигаться со скоростію, параллельно плоскости MN. Сила OH дѣйствуя перпендикулярно къ MN, должна быть подчинена законамъ прямаго сраженія упругихъ тѣлъ. Посему: 1 вся сила OH должна быть перенесена на плоскость и отражена отпоромъ сего тѣла, который всегда равенъ дѣйствію. И такъ упругое тѣло, побуждаемое силою равною OH поднимается, но обратно. Слѣдовательно, если упругое тѣло, достигаетъ единообразнаго прямолинейнаго движенія, такъ что въ данное время, оно идетъ отъ HO перпендикулярно къ оной, то послѣ сраженія тѣло сіе пойдетъ въ равное же пространство времени отъ OK'=OK, паралельно плоскости и отъ OH перпендикулярно къ оной. Тогда діагональ OA' представляющая направленіе и величину переходимаго пространства, будетъ діогональ прямоугольника HOK'A' равнаго HOKA. Посему, углы AOH и A'OH суть равны между собою.

Итакъ, когда совершенно упругое тѣло будетъ пущено на твердую плоскость подъ какимъ нибудь угломъ, который называется *угломъ паденія*, то оно сохранитъ всю свою скорость и приметъ новое направленіе, удаляющее его отъ плоскости, подъ угломъ, называемымъ *угломъ отраженія*, который равенъ углу паденія.

Digitized by Google

Я уже сказалъ что слоновая кость есть одно изъ тѣхъ тѣлъ, которыя наиболѣе приближаются къ совершенно упругимъ тѣламъ. Когда шаръ изъ слоновой кости ударяется о плоскость, то отражается отъ оной, сохранивъ свою скорость, такъ что уголъ отраженія почти равенъ углу паденія. *Билліардная игра* основана на семъ законѣ сраженія упругихъ тѣлъ.

Положимъ, напримѣръ, что блуза C [фиг. 21], такъ помѣщена относительно къ шарамъ A и B, что проведя: 1 прямую линію CBE до борта MN; 2 линію AE, то уголъ MEB=NEA. Толкнувъ шаръ A въ точкѣ E, онъ отразится по направленію EB, ударитъ прямо B и останется въ покоѣ; между тѣмъ какъ B пойдетъ со всею скоростію шара въ минуту сраженія, по направленію BC, которое приведетъ его въ блузу. Часто случается что шаръ B не находится на прямомъ направленіи CBE, приводящемъ въ блузу, какъ видно въ фиг. 22. Тогда должно чтобы шаръ A, будучи пущенъ въ E, отразился дѣлая AEN=MEA′ и достигнувъ положенія A′, такъ ударилъ бы шаръ B, чтобы онъ попалъ въ блузу C (*).

Посему то билліардная игра требуетъ какъ опытнаго глаза, дабы судить о направленіяхъ и углахъ, такъ и опытной руки, дабы она могла слѣдовать назначенію глаза.

Въ XVII вѣкѣ, Французскій Инженеръ Вобанъ сдѣланъ употребленіе способа стрѣлять изъ пушекъ,

(*) Условіе сіе тогда будетъ выполнено когда прямая *xy*, касательная къ двумъ шарамъ въ ихъ точкѣ прикосновенія, будетъ такова что углы, составляемые ею съ прямыми BC и AE, суть равны собою.

Digitized by Google

способа зависящаго отъ отраженія упругихъ тѣлъ. Стрѣляя ядромъ посредственной тяжести по направленію AB [фиг. 23], немного возвышенному надъ горизонтомъ, ядро A привлеченное къ землѣ его тяжестію, падаетъ въ A', подъ угломъ немного большимъ угла BAN. Тогда ядро отразится подъ угломъ B'A'N', почти равнымъ углу BAN; потомъ снова упадетъ и опять поднимется. Посему, если на линіи AN должно будетъ уничтожить рядъ препятствій, то поражаютъ ихъ столько разъ, сколько будетъ таковыхъ скачковъ или рикошетовъ. Таковые рикошеты производятся не только на твердыхъ плоскостяхъ, но на жидкой поверхности.

Дѣти часто производятъ опытъ сей, бросая на воду плоскіе камешки. Камешки отскакиваютъ отъ воды и производятъ до семи, восьми и девяти скачковъ, смотря по силѣ и ловкости, съ которою они были брошены.

Свѣтъ падающій на тѣла, представляетъ намъ прекраснѣйшіе и весьма важные примѣры отраженія упругихъ тѣлъ. Въ семъ случаѣ уголъ паденія всегда равенъ углу отраженія, и наилучшіе инструменты убѣждаютъ насъ въ совершенной упругости сего тѣла. Мы видѣли что твердыя и мягкія тѣла, при сраженіи своемъ теряютъ силу, если направленія ихъ противоположны; совершенно упругія тѣла вовся нетеряютъ оной, а несовершенно упругія только отчасти.

Сія выгода упругихъ тѣлъ содѣлываетъ употребленіе ихъ весьма важнымъ въ Механикѣ. Разсмотримъ, напримѣръ, движеніе повозки, которой колеса безпрестанно претерпѣваютъ большіе или

Digitized by Google

меньшіе толчки отъ выдающихся частей дороги, то увидимъ, что гораздо выгоднѣе вѣшать кузовъ повозки на ресорахъ. Отъ дѣйствія ресоръ часть горизонтальной силы, теряемой по причинѣ толчковъ, остается сохраненною, и слѣдовательно служитъ для поступательнаго движенія повозки. Что же касается до силы, толкающей повозку снизу въ верхъ, то дѣйствіемъ ресоръ, которыя сгибаются въ ту минуту когда начинаетъ дѣйствовать сила толкающая снизу на верхъ, центръ тяжести повозки будетъ болѣе или менѣе поднятъ; но когда препятствіе минуется, когда колесо послѣ возхожденія опять низойдетъ, тогда ресоры поддерживающія кузовъ повозки, заставятъ центръ тяжести снова принять свою высоту относительно колесъ.

Итакъ, отъ дѣйствія ресоръ, центръ тяжести повозки долженъ получать движеніе въ верхъ и внизъ гораздо меньшее и менѣе внезапное. Дѣйствіе чрезвычайно чувствительно, когда сравнимъ тряску, ощущаемую въ повозкѣ повѣшенной и неповѣшенной на ресорахъ: наипаче когда послѣдовательная скорость повозки дѣлается значительною. Дѣйствіе же нетолько выгодно для уменьшенія безпокойства сидящихъ въ экипажахъ; оно при перевозкѣ произведеній промышленности избавляетъ ихъ отъ внезапныхъ движеній и толчковъ, которые могутъ нанести имъ вредъ и заставить ихъ потерять свою цѣнность. Перевозя сіи произведенія промышленности въ повозкахъ на ресорахъ, получаютъ двоякую выгоду: лучше сохранять сіи предметы и употреблять гораздо меньшую силу. Кро-

Digitized by Google

мѣ того ресоры, уменьшая силу толчковъ повозки о дорогу, много сбѣрегаютъ ихъ.

Упругость веревокъ содѣлываетъ ихъ весьма способными сопротивляться внезапнымъ ударамъ; она производитъ въ нихъ дѣйствіе подобное ресорамъ, какъ видно при веревкахъ привязанныхъ однимъ концемъ къ головѣ мачты, а другимъ къ борту корабля. Когда вѣтръ вдругъ подѣйствуетъ на паруса, съ новою скоростію, то скорость сія постепенно будетъ вытягивать веревки, находящіяся состороны вѣтра, до той точки когда постепенное сопротивленіе противополагаемое сими веревками, присоединенное къ сопротивленію, противополагаемому остойчивостію корабля, по мѣрѣ его наклоненія отъ дѣйствія вѣтра, даетъ сумму равномѣрную съ порывомъ вѣтра. Если порывы сіи потомъ уменьшатся, то упругая сила веревокъ заставитъ ихъ снова принять свою первоначальную длину. Мачты, которыя по причинѣ упругости ихъ были согнуты по мѣрѣ вытягиванія веревокъ, разпрямляются по причинѣ сей упругости; тогда система способна къ новому сопротивленію, когда вѣтръ опять начнетъ свое внезапное дѣйствіе.

До употребленія веревокъ, служащихъ для поддержанія мачтъ, должно ихъ сильно вытягивать. Въ самомъ дѣлѣ въ началѣ употребленія ихъ, онѣ гораздо болѣе подвержены вытягиванію отъ дѣйствія силъ натягивающихъ по продольному направленію, не принимая первоначальной длины когда силы сіи перестанутъ дѣйствовать. Посему должно достигнуть предѣла сего рода вытягиванія,

Digitized by Google

прежде нежели онѣ могутъ получить оный отъ упругой силы веревки.

Дюпень видѣлъ какъ верхнія мачты одного Французскаго корабля сломались въ бурю; поелику корабль сей недавно оснащенный, имѣлъ мачты поддерживаемыя снастями, которыя не были еще такъ вытянуты, чтобы упругая сила ихъ могла дѣйствовать какъ полезное и достаточное сопротивленіе.

Когда наковальня утверждена на каменной подставкѣ, которая имѣетъ одну только твердость безъ упругости, то примѣчаютъ что умножая удары молота на наковальню, они дѣйствіемъ своимъ скоро разбиваютъ камни, на которыхъ находится наковольня. Если подъ наковольню положить упругое тѣло, какъ напримѣръ дерево, тогда каменная подставка его поддерживающая неповредится.

Когда работникъ ударяетъ молоткомъ, имѣющимъ головку желѣзную, а ручку деревянную, то ударъ произведенный головкою молотка передастъ ручкѣ дрожаніе, которое много обремѣняетъ руку работника: наипаче котельщика и жестяника, гдѣ молотокъ поражаетъ скорыми ударами дрожащія поверхности.

Итакъ должно стараться чтобы мѣсто ручки, за которое держатъ оную, было тоньше чѣмъ къ головкѣ молотка. Помощію таковаго разположенія дрожанія слабо передаются, ибо они начинаютъ проходить сѣченія малой поверхности, которая содѣлывается болѣе и болѣе, а потому дрожанія сіи постепенно уменьшаютъ силу свою и работникъ ѣдва ихъ чувствуетъ.

КОНЕЦЪ.

Digitized by Google

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Стр.

Глава первая. Общая система мѣръ, употребляемыхъ въ механическихъ художествахъ . . . . . 5.
Геометрическія мѣры . . . . . 6.
Мѣра длины . . . . . —
Необходимость преобразованія мѣръ . . . . . 7.
Метръ. . . . . 8.
Сравненіе метрическихъ мѣръ съ нашими . . . . . 10.
Мѣры поверхности . . . . . 11.
Мѣра объемовъ . . . . . —
Мѣры Механики: тяжесть. . . . . 12.
Мѣра величинъ монетою въ механикѣ . . . . . 14.
—— времени . . . . . 15.
Глава вторая. Первые законы движенія и приложеніе оныхъ къ машинамъ.
Первые законы движенія . . . . . 17.
Единообразныя движенія . . . . . 18.
Равнодѣйствующія и составляющія силы . . . . . 19.
О равновѣсіи. . . . . —
Количество движенія . . . . . 23.
Скорость есть отношеніе перейденнаго пространства ко времени. . . . . —
О сопротивленіи движенію тѣлъ на земной поверхности. . . . . 24.
О силахъ, которыя безпрестанно должно прибавлять, дабы сохранить единообразное движеніе на земной поверхности . . . . . 25.
Геометрическое изображеніе закона движенія . . . . 27.

Digitized by Google

Стр.

Перейденныя пространства пропорціональныя квадратамъ временъ . . . . . 31.

Перейденныя пространства пропорціональны квадратамъ скоростей, приобрѣтеннымъ въ концѣ данныхъ временъ . . . . . —

О тяжести . . . . . 32.

Приложенія . . . . . 33.

Ускорительныя и укоснительныя силы. . . . . 34.

Живыя силы . . . . . 36.

Слѣдствія свойствъ живыхъ силъ, показывающія невозможность вѣчнаго движенія . . . . . 37.

Объ ускорительныхъ и укоснительныхъ силахъ, происходящихъ отъ сопротивленія или дѣйствія вѣтра, воды, и проч . . . . . —

Глава третія. Параллельныя силы.

Равнодѣйствующая многихъ параллельныхъ силъ, направленныхъ въ одну сторону равна суммѣ ихъ . . 41.

О равнодѣйствующей силъ, направленныхъ въ различныя стороны . . . . . —

Какимъ образомъ Геометрія представляетъ частями пространства, величины существенно различныя, каковы: время, скорость, силы, и проч. . . . 42.

Представленіе величины и направленія силы прямою линіею . . . . . 44.

Опредѣленіе положенія прямой линіи, представляющей по величинѣ и направленію равнодѣйствующую силъ, изображенныхъ прямыми параллельными линіями . 45.

О центрѣ тяжести . . . . . 50.

О свойствахъ центра тяжести . . . . . 51.

О центрѣ тяжести человѣческаго тѣла . . . . 53.

Digitized by Google

Стр.

Глава четвертая. О центрѣ тяжести машинъ и произведеній промышленности; о моментахъ.
Вѣрность опредѣленія центра тяжести въ неподвижныхъ частяхъ машинъ . . . . . 61.
Положеніе центра тяжести повсюду равнотяжелой прямой линіи . . . . . 62.
Положеніе центра тяжести въ какомъ-ни есть числѣ равнотяжелыхъ прямыхъ линій . . . . . 63.
О симметрическихъ контурахъ . . . . . 64.
Примѣры . . . . . 66.
О центрѣ тяжести трехугольника . . . . . 69.
— — — — — — четырехугольника . . . . . 70.
— — — — — — обводовъ и площадей, симметрическихъ относительно двухъ осей . . . . . 71.
О центрѣ тяжести кривыхъ поверхностей . . . —
Примѣры . . . . . 72.
О моментахъ параллельныхъ силъ . . . . . 73.
О центрѣ тяжести трехъ силъ, приложенныхъ къ тремъ вершинамъ трехугольника . . . . . 78.
О нахожденіи центра тяжести поверхностей и объемовъ въ морскомъ искуствѣ . . . . . 79.
Приложеніе центра тяжести въ различныхъ тѣлахъ. 85.
Употребленіе центра тяжести для опредѣленія объема или толстоты тѣлъ . . . . . 87.
Глава пятая. Продолженіе законовъ движенія.
Тѣло приведенное въ движеніе дѣйствіемъ двухъ силъ, достигаетъ тойже точки въ концѣ даннаго времени, будутъ ли силы въ продолженіе сего времени дѣйствовать вдругъ или каждая изъ оныхъ въ продолженіе того же времени будетъ дѣйствовать поодиначкѣ . . . . . 91.

Digitized by Google

Стр.

Тѣло побуждаемое двумя постоянными силами, должно пробѣжать прямую линію какъ будто оно побуждаемо было одною только силою . . . . . 93.
О параллелограммѣ силъ . . . . . —
Различныя приложеніе параллеграмма силъ . . . . 95.
Примѣръ предлагающійся фигурою и движеніями симметрическими птицъ. . . . . 97.
Примѣръ человѣка . . . . . —
——— рыбъ и кораблей . . . . . —
Когда двѣ большія составляющія силы могутъ имѣть весьма малую равнодѣйствующую силу . . . . 99.
О составленіи силъ въ метаніи стрѣлъ помощію лука. . . . . —
Способность весьма малой силы предъ значительными; примѣръ предлагаемый арфою. . . . . 100.
О равнодѣйствующей трехъ силъ сходящихся въ одну точку . . . . . 104.
Изъясненіе разложенія силъ помощію параллеллопипеда. 106.
Случай, когда равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ на тѣло непроходитъ чрезъ центръ тяжести онаго 108.
Примѣры свойствъ движенія. . . . . 109.
Глава шестая. Простыя машины: веревки, висячіе мосты, остастка судовъ.
Опредѣленіе машинъ и роды оныхъ . . . . . 111.
О веревкахъ . . . . . —
О веревкѣ натягиваемой съ обоихъ концевъ . . . 112.
Измѣреніе напряженія сей веревки . . . . . 113.
О машинахъ употребляемыхъ для измѣренія силы веревокъ . . . . . —
Приложеніе къ звону колоколовъ . . . . . 114.
— — — къ копрамъ или машинамъ для вбиванія свай 115.

Digitized by Google

Стр.

О веревкахъ натягиваемыхъ за оконечности оныхъ и въ промежуточныхъ точкахъ . . . . . 115.
О веревочномъ многоугольникѣ . . . . . 116.
О тяжести веревокъ, принимая оную въ соображеніе при равновѣсіи оныхъ . . . . . 117.
О цѣпной линіи . . . . . 118.
Различныя приложенія . . . . . ——
Геометрическія свойства цѣпной линіи . . . . . 120.
Приложеніе къ оснасткѣ кораблей . . . . . 123.
Висячіе мосты . . . . . 125.
Равновѣсіе веревокъ приложенныхъ къ поверхности твердыхъ тѣлъ . . . . . 127.
Приложеніе веревокъ натянутыхъ, на поверхности и побуждаемыхъ различными силами, къ строенію кораблей, къ одеждѣ мужчинъ и женщинъ, къ упряжкѣ лошадей, и проч. . . . . 128.
О веревочныхъ многоугольникахъ, когда веревки ихъ составляющія приложены къ поверхностямъ . . 132.
Глава седьмая. Продолженіе о веревочной машинѣ. Центральныя движенія веревокъ, прутьевъ, колесъ, маховыхъ колесъ.—Моменты несамодѣйственности. Маятники.
Опредѣленіе *касательной*, *центростремительной* и *центробѣжной силы* . . . . . 135.
Центростремительная и центробѣжная сила, равна квадрату касательной силы раздѣленному на радіусъ 136.
О единообразномъ центральномъ движеніи . . . ——
Примѣръ дѣйствія центростремительныхъ и центробѣжныхъ силъ . . . . . 137.
Движеніе повозокъ въ поворотахъ . . . . . 139.

Digitized by Google

Стр.

Вліяніе наклоненія дорогъ, соединенное съ дѣйствіемъ центробѣжной силы, при поворотахъ . . . 139.
О прочности колесъ . . . . . 140.
О мешательныхъ оружіяхъ, приводимыхъ въ центральное движеніе . . . . . 141.
О пращѣ . . . . . ——
Движеніе тѣла въ пустомъ кругѣ . . . . . 142.
Приложеніе къ Артиллеріи . . . . . ——
Примѣръ, представляемый природою, криволинейнымъ движеніемъ, въ которомъ тѣла неудерживаются ни веревками, ни внѣшними обводами; Земля, Луна, Планеты и проч. . . . . 143.
Дѣйствіе центробѣжной силы на тѣла, находящіяся на поверхности земли . . . . . 145.
О количествѣ движенія различныхъ точекъ тѣла, вращающагося около своей оси . . . . . 148.
Слѣдствія для маховыхъ колесъ, употребляемыхъ въ машинахъ . . . . . 149.
Изложеніе математическихъ правилъ, по которымъ вычисляютъ дѣйствіе маховыхъ колесъ . . . 150.
Маятники . . . . . 160.
Приложеніе маятника къ часамъ . . . . . 168.
О сложномъ маятникѣ . . . . . 170.
Уравнители паровыхъ машинъ . . . . . 172.
Глава восьмая. О рычагѣ.
Рычаги перваго, втораго и третьяго родовъ . . . 175.
Приложеніе къ передачѣ движенія . . . . . 177.
Равновѣсіе рычага требуетъ чтобъ сила умноженная на свою скорость, равна была сопротивленію, умноженному на его скорость . . . . . 181.

Digitized by Google

Стр.

О давленіи выдерживаемомъ рычагомъ перваго, втораго и третьяго родовъ . . . . . 182.
Параллелограмъ силъ показываетъ величину давленія на точку опоры, когда сила и сопротивленіе не параллельны . . . . . 183.
Приложеніе рычага перваго рода. *Вѣсы* . . . . 184.
Какъ узнать, что вѣсы фальшивы . . . . . 185.
О подвижности, чувствительности вѣсовъ . . . 186.
О безмѣнѣ . . . . . 189.
Средство точнѣйшимъ образомъ взвѣшивать тѣла помощію безмѣна . . . . . 190.
Примѣръ рычаговъ перваго рода, предлагаемый рулемъ кораблей; изчисленіе дѣйствія руля . . . . ——
Приложеніе рычаговъ втораго рода; *весла* . . . 191.
третьяго рода. Держаніе въ рукахъ пера, и проч. . . . . 192.
Употребленіе рычаговъ членами человѣка, польза ихъ соединенія . . . . . 193.
Телеграфы суши подражаніе сему роду естественныхъ рычаговъ . . . . . ——
Системы искусственныхъ рычаговъ . . . . . 194.
Глава девятая. О блокахъ.
О неподвижномъ блокѣ . . . . . 197.
Условіе равновѣсія между силою и сопротивленіемъ въ неподвижномъ блокѣ . . . . . 198.
Вліяніе вѣса веревки на равновѣсіе неподвижнаго блока 199.
Вознаградительныя веревки или цѣпи . . . . ——
О давленіи производимомъ на точку опоры и на ось неподвижнаго блока . . . . . 200.
Переносные блоки . . . . . 201.

Digitized by Google

Стр.

О движеніи силы и сопротивленія въ неподвижныхъ блокахъ, приложеніе онаго къ Атвудовой машинѣ 201.
О подвижныхъ блокахъ . . . . . 202.
Соединеніе неподвижныхъ блоковъ съ подвижными; примѣръ предлагаемый вѣшаніемъ реверберовъ . . . 204.
Система подвижныхъ блоковъ, гдѣ сила одного блока служитъ сопротивленіемъ слѣдующему и т. д. . 205.
Частный случай, когда всѣ силы и всѣ сопротивленія содѣлываются параллельными . . . . . , . ——
Системы полиспатовъ . . . . . 207.
О тяжести въ блокахъ . . . . . 210.
Опредѣленіе сопротивленія при движеніи кружковъ блоковъ . . . . . 211.
Опыты Куламба для опредѣленія сопротивленія, противополагаемаго жесткостью веревокъ движенію блоковъ . . . . . 213.
Вліяніе сырости на жесткость веревокъ . . . . 215.
Сравнительныя сопротивленія жесткости несмоленыхъ веревокъ съ смолеными . . . . . 216.
Вліяніе температуры на жесткость смоленыхъ веревокъ 217.
Приборъ для измѣренія жесткости веревокъ. . . 219.
Выдѣлка блоковъ . . . . . 221.
Глава десятая. О воротѣ и зубчатыхъ колесахъ
Опредѣленіе ворота . . . . . 225.
О свойствахъ ворота . . . . . ——
О равновѣсіи ворота . . . . . 229.
Вліяніе толщины веревокъ . . . . . 230.
Дѣйствіе тяжести въ воротѣ . . . . . 231.
О шестахъ употребляемыхъ вмѣсто колеса ворота. 232.
Колеса съ гвоздями и колеса на подобіе барабана . —

Digitized by Google

Стр.

Колеса приводимыя въ движенія людьми и употребленіи оныхъ въ Англіи . . . . . 233.
О брашпилѣ. . . . . 234.
О журавлѣ . . . . . 235.
О козлахъ . . . . . 236.
О кабестанѣ . . . . . 237.
Изчисленіе отношенія силы къ сопротивленію въ составѣ ворошовъ и кабестановъ . . . . . 241.
Приложенія выводовъ къ передачѣ вращательнаго движенія къ одной оси на другую ей параллельную 244.
Зубчатыя колеса . . . . . 245.
О зацѣпаніи неровностей шинъ колесъ съ землею . 247.
Замѣчанія о формѣ и размѣреніяхъ зубчатыхъ колесъ. 248.
О домкратѣ . . . . . 250.

Глава одинадцатая. О равновѣсіи на твердыхъ плоскостяхъ и о наклонной плоскости.

Дабы тѣло, касающесся въ одной точкѣ поверхности, оставалось въ оной въ равновѣсіи, должно чтобъ равнодѣйствующая всѣхъ силъ, проходила чресъ сію точку и была бы перпендикулярна съ плоскости . . . . . 253.
Когда тѣло касается плоскости въ двухъ точкахъ. 255.
Когда тѣко касается въ трехъ точкахъ. . . . . 256.
Приложенія предъидущихъ правилъ. . . . . 257.
О равновѣсіи тѣла касающагося двухъ плоскостей. 259.
——— ——— ——— трехъ ——— . 260.
О равновѣсіи тѣлъ находящихся на плоскостяхъ, разсматривая дѣйствіе тяжести на сіи тѣла . . . 261.
О горизонтальныхъ плоскостяхъ . . . . . —
О равновѣсіи шара на плоскости . . . . . 262.
— — — — эллипсоида — — — . . . . . 263.

Digitized by Google

Стр.

Объ остойчивости . . . . . 264.
О метацентрѣ. . . . . 266.
Опредѣленіе условій остойчиваго равновѣсія . . . 267.
О равновѣсіи тѣла на наклонной плоскости. . . 268.
Глава двѣнадцатая. О винтѣ, скручиваніи, веревкахъ; о клинѣ и орудіяхъ къ оному относящихся.
Краткое повтореніе свойствъ спиральныхъ линій и поверхностей . . . . . 273.
О равновѣсіи винта . . . . . 274.
О системѣ неподвижной гайки . . . . . 275.
——— неподвижнаго винта . . . . . —
Важность точной выдѣлки винта и гайки . . . 276.
Различіе винтовъ съ трехугольными и четырехугольными нарѣзками . . . . . 277.
О веществѣ, изъ котораго должно дѣлать винты . —
Приложенія винта. . . . . —
Безконечный винтъ . . . . . 278.
О силахъ стремящихся сдрутить винтъ и гайку . 279.
Какимъ образомъ цилиндрическія дерева сопротивляются и уступаютъ крученію . . . . . 280.
Крученіе веревокъ. . . . . 283.
О клинѣ. . . . . 286.
Пила. . . . . 290.
Круглая пила . . . . . 291.
Приложенія пилъ . . . . . 293.
Глава тринадцатая. О треніи въ машинахъ.
Опредѣленія тренія . . . . . 301.
Опыты Куломба о треніи . . . . . 303.
Дуба о дубъ . . . . . 304.
Сосны о дубъ . . . . . 305.

Digitized by Google

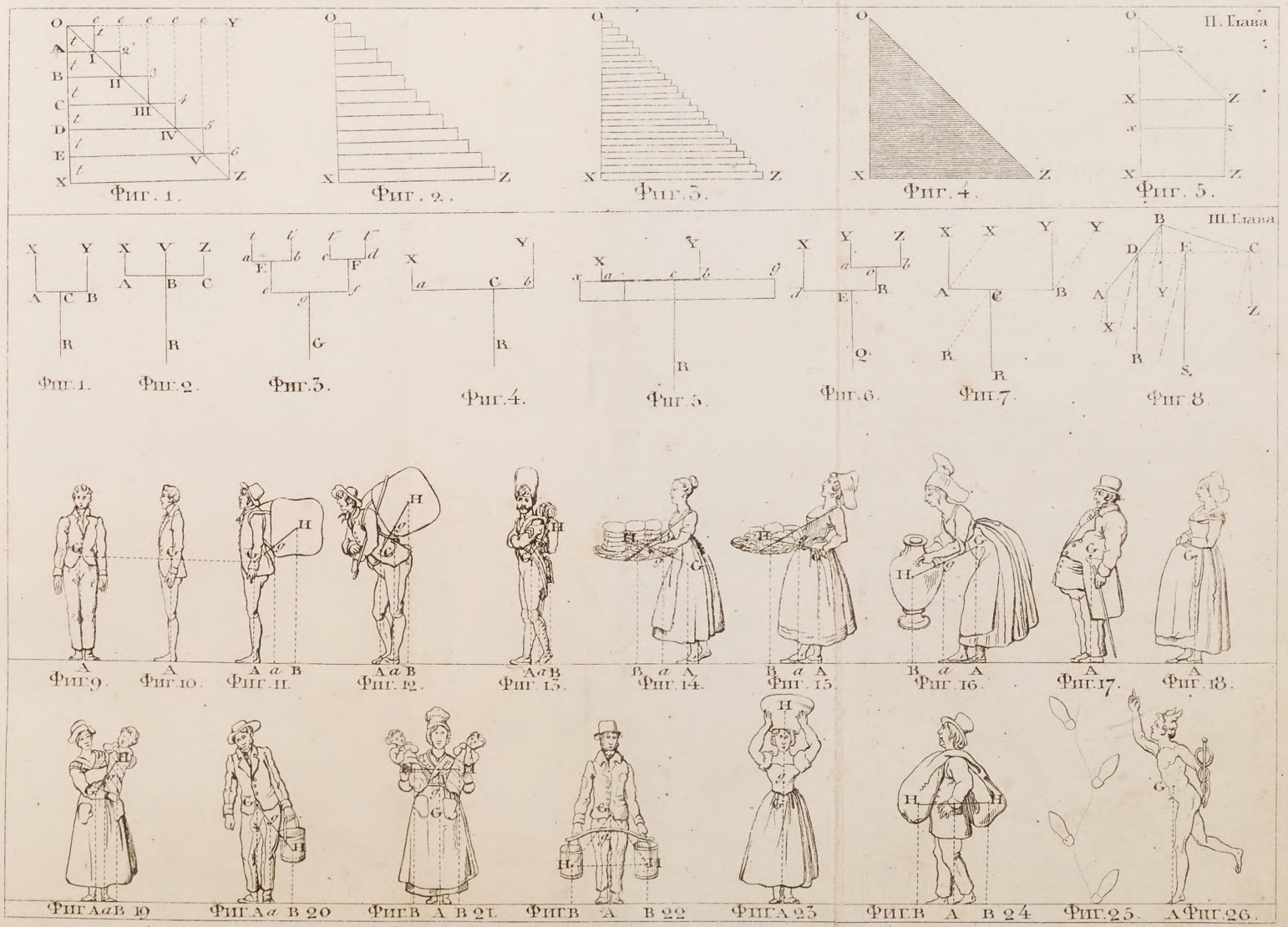
Стр.
Сосны о сосну. . . . . 306.
Вяза о вязъ . . . . . —
Металла о дерево. . . . . 307.
Металла о металлъ . . . . . 308.
Подмазка для уменьшенія тренія . . . . . 309.
Сопротивленіе тренія есть постоянное количество. 313.
Опыты Куромба опредѣляющія отношенія давленій къ треніямъ. . . . . —
Слѣдствія предъидущихъ опытовъ . . . . . 318.
Глава четырнадцатая. О Давленіяхъ, напряженіяхъ и объ упругости вообще.
Свойство тѣлъ мягкихъ и упругихъ относительно сжиманія . . . . . 329.
Приложенія свойствъ упругихъ тѣлъ . . . . . 331.
Свойства тѣлъ мягкихъ и упругихъ относительно напряженія. . . . . 333.
О напряженій струнъ. . . . . 334.
Объ упругости соединенныхъ нитей . . . . . 335.
Объ упругости дерева . . . . . 338.
Глава пятнадцатая. О сраженіи тѣлъ.
Различныя свойства относительно сраженія тѣлъ въ тѣлахъ совершенно упругихъ и несовершенно упругихъ. . . . . 357.
Приложенія законовъ сраженія . . . . . 361.
Сраженіе тѣлъ движущихся въ одну или въ обратныя стороны, по направленію прямой проходящей чрезъ ихъ центры тяжести. . . . . 364.
О сраженіи тѣлъ, направленныхъ по линіямъ, составляющимъ нѣкоторой уголъ . . . . . 365.
О сраженіи тѣлъ, движущихся по непрерывной кривой линіи . . . . . 366.

Digitized by Google

Стр.

Центръ удара . . . . . 367.
Приложеніе къ молоткамъ . . . . . 368.
——— къ баллистическому маятнику . . . 369.
О предосторожности въ машинахъ относительно сраженія . . . . . —
О сраженіи упругихъ тѣлъ; сохраненіе всего количества движенія въ тѣлахъ совершенно упругихъ . 375.
О косвенномъ сраженіи . . . . . 375.
Приложеніе къ билліардной игрѣ . . . . . 378.
——— рокошетамъ . . . . . —
——— отраженію свѣта . . . . . 379.
——— экипажамъ . . . . . 380.
——— оснасткѣ кораблей . . . . . 381.
——— кузнечному мастерству . . . . 382.

Digitized by Google



Фиг. 1. Фиг. 2. Фиг. 3. Фиг. 4. Фиг. 5.

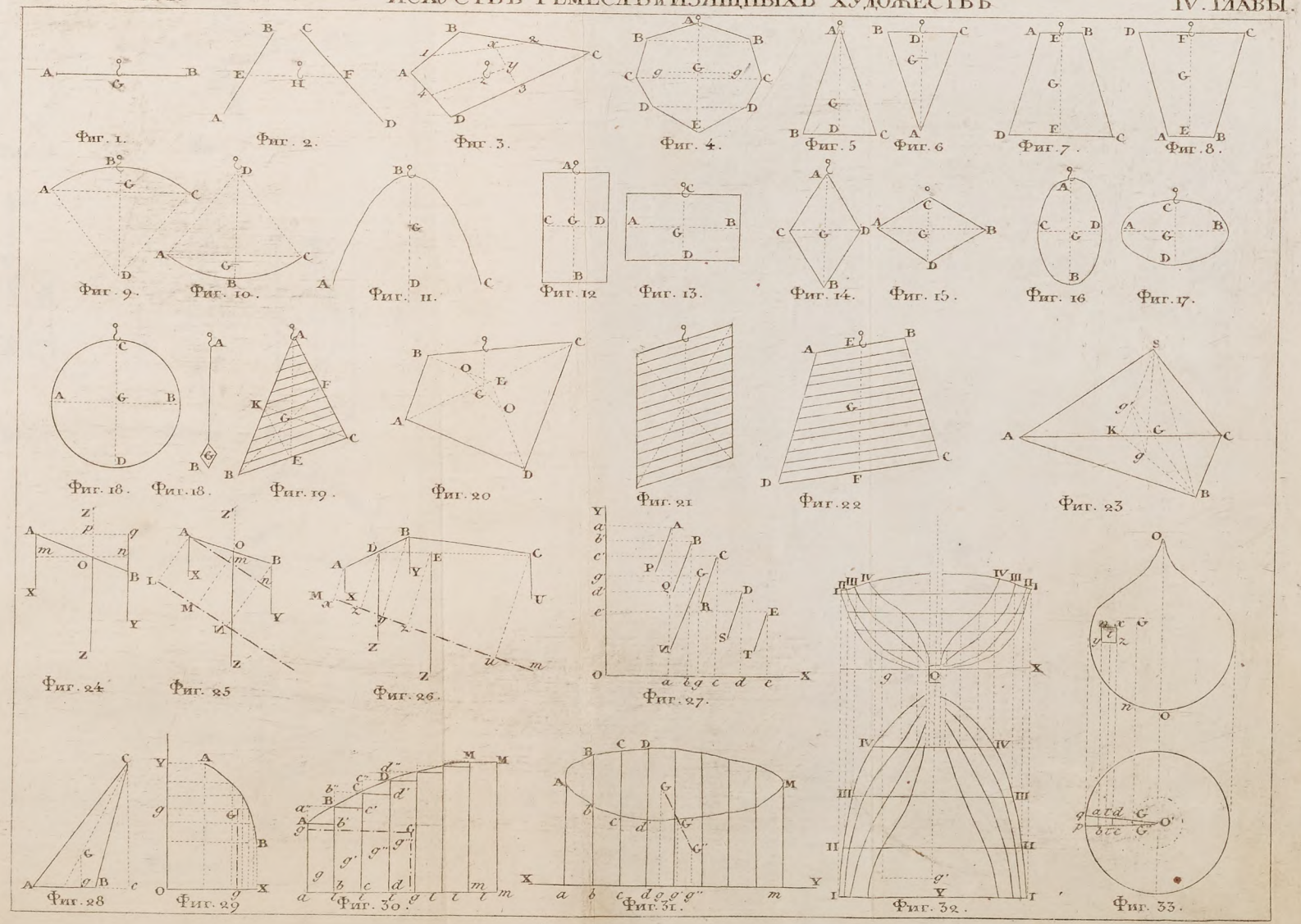
Фиг. 1. Фиг. 2. Фиг. 3. Фиг. 4. Фиг. 5. Фиг. 6. Фиг. 7. Фиг. 8.

Фиг. 9. Фиг. 10. Фиг. 11. Фиг. 12. Фиг. 13. Фиг. 14. Фиг. 15. Фиг. 16. Фиг. 17. Фиг. 18.

Фиг. A a B 19 Фиг. A a B 20 Фиг. B A B 21 Фиг. B A B 22 Фиг. A 23 Фиг. B A B 24 Фиг. 25. A Фиг. 26.

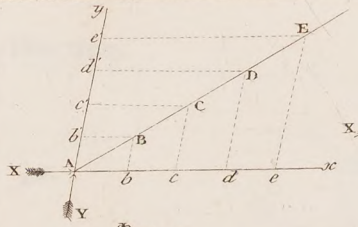
Digitized by Google

Digitized by Google

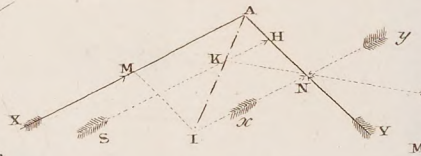


Digitized by Google

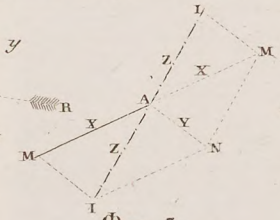
Digitized by Google



Фиг. 1.



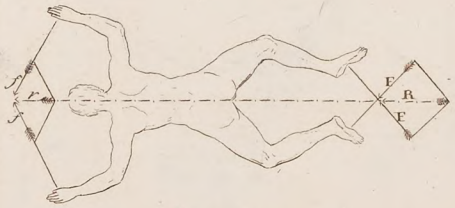
Фиг. 2.



Фиг. 3.

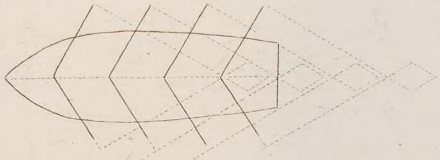
Фиг. 4.

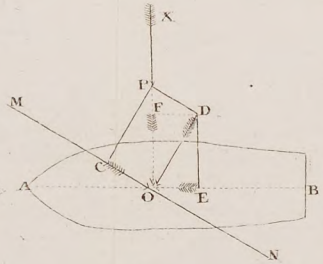
Фиг. 5.



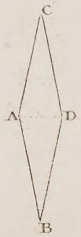
Фиг. 6.

Фиг. 7.

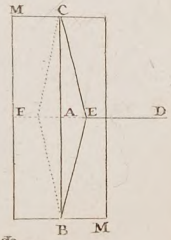

Фиг. 8.



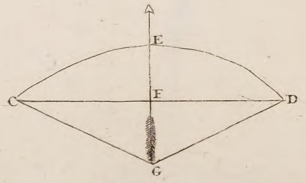
Фиг. 9.



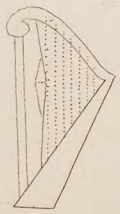
Фиг. 10.

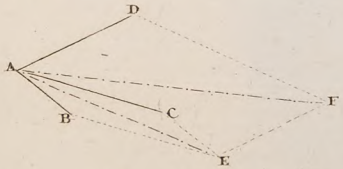


Фиг. 11.

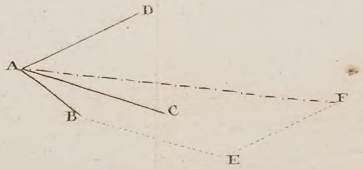


Фиг. 12.

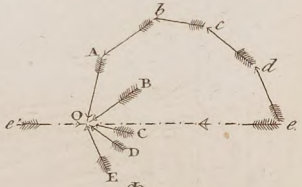

Фиг. 13.



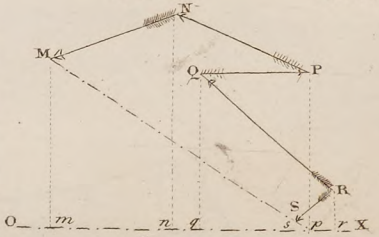
Фиг. 14.



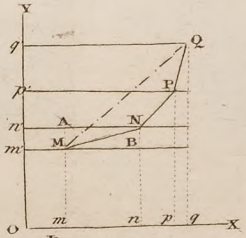
Фиг. 15.



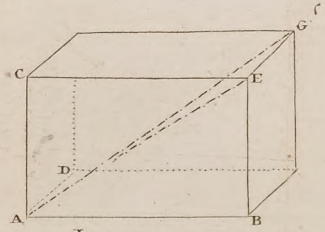
Фиг. 16.



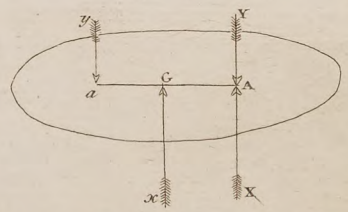
Фиг. 17.



Фиг. 18.



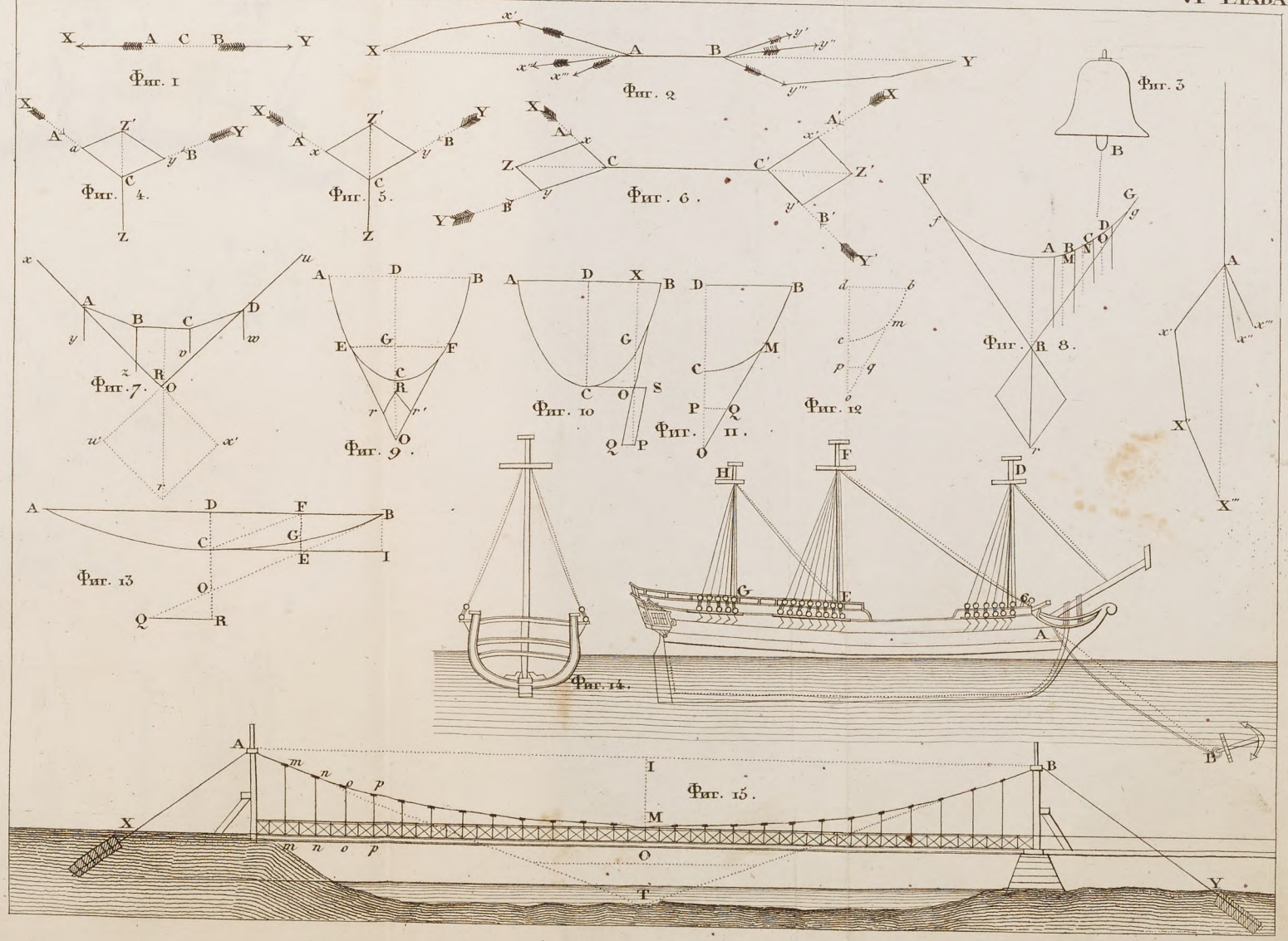
Фиг. 19.



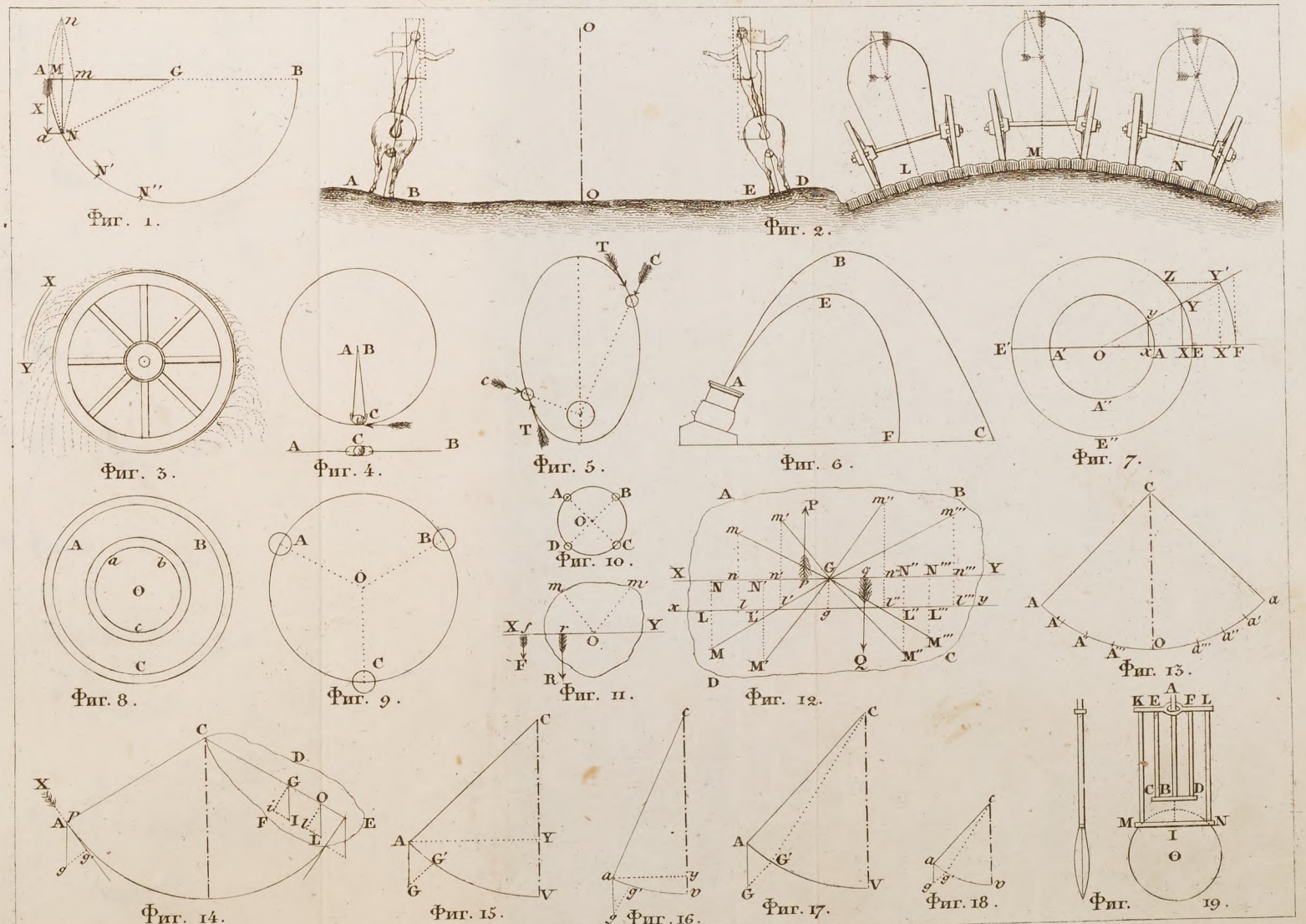
Фиг. 20.

Digitized by Google

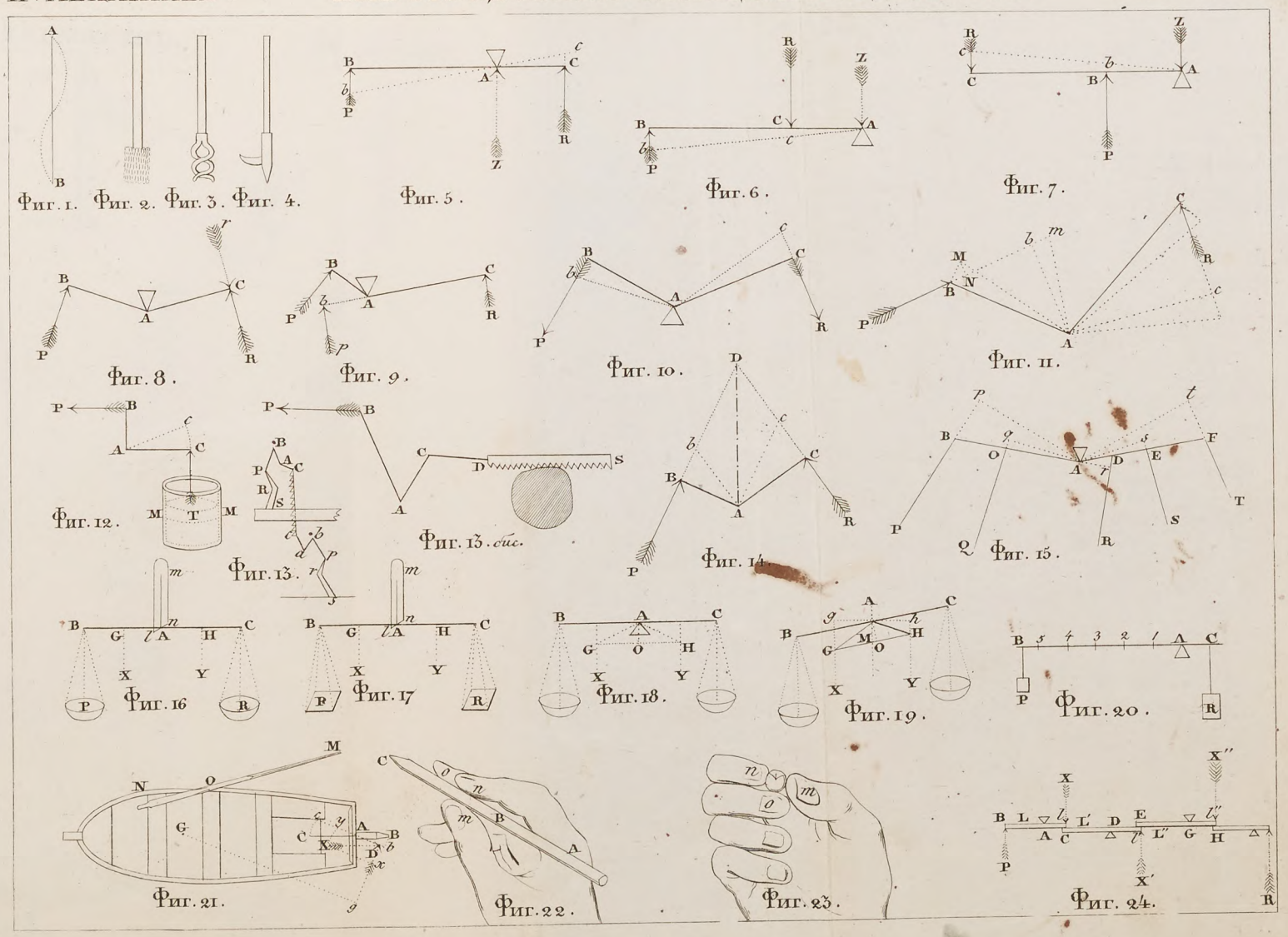
Digitized by Google


Фиг. 1
Фиг. 2
Фиг. 3
Фиг. 4.
Фиг. 5.
Фиг. 6.
Фиг. 7.
Фиг. 8.
Фиг. 9.
Фиг. 10
Фиг. 11.
Фиг. 12
Фиг. 13
Фиг. 14.
Фиг. 15.

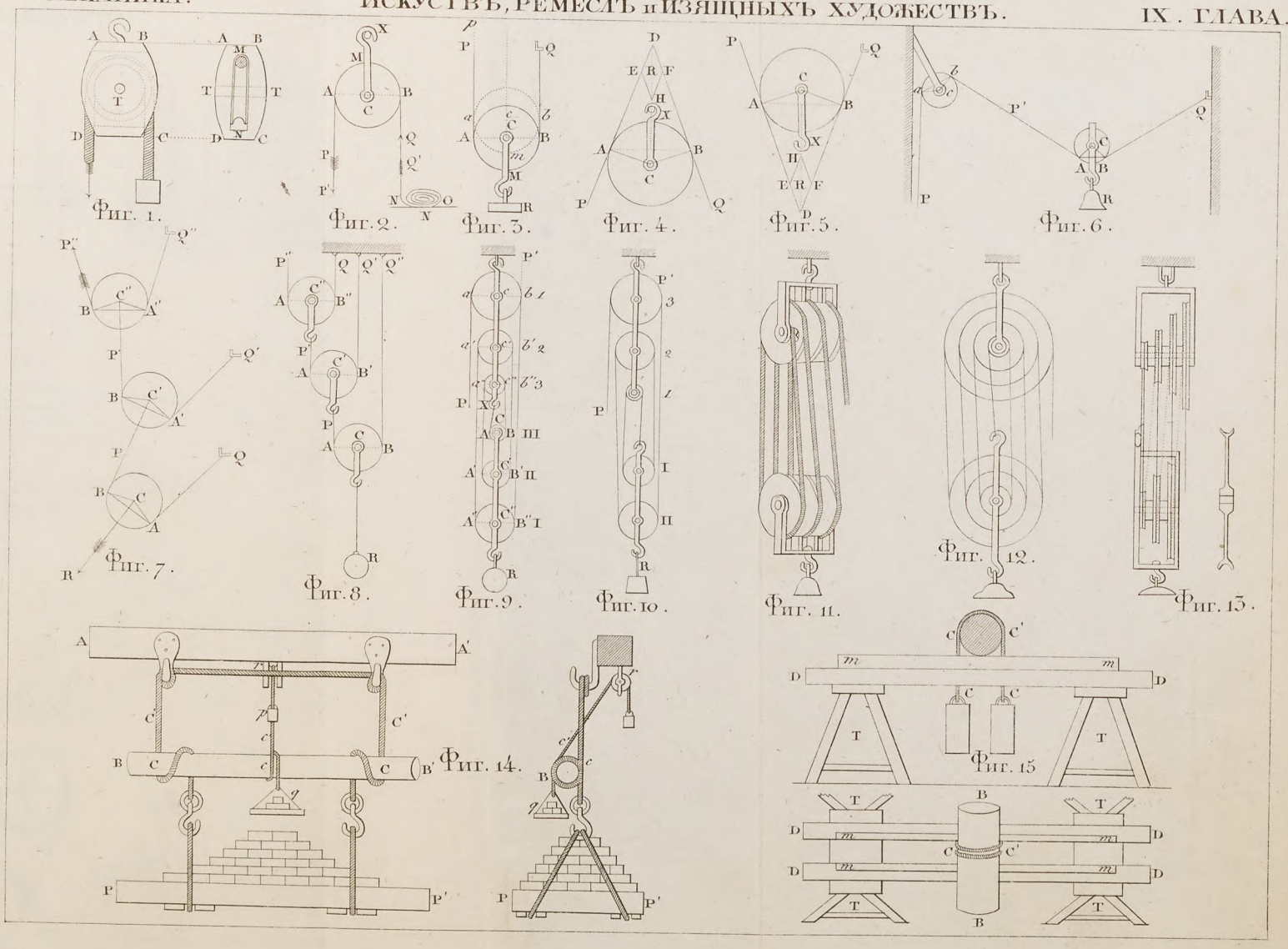
Digitized by Google



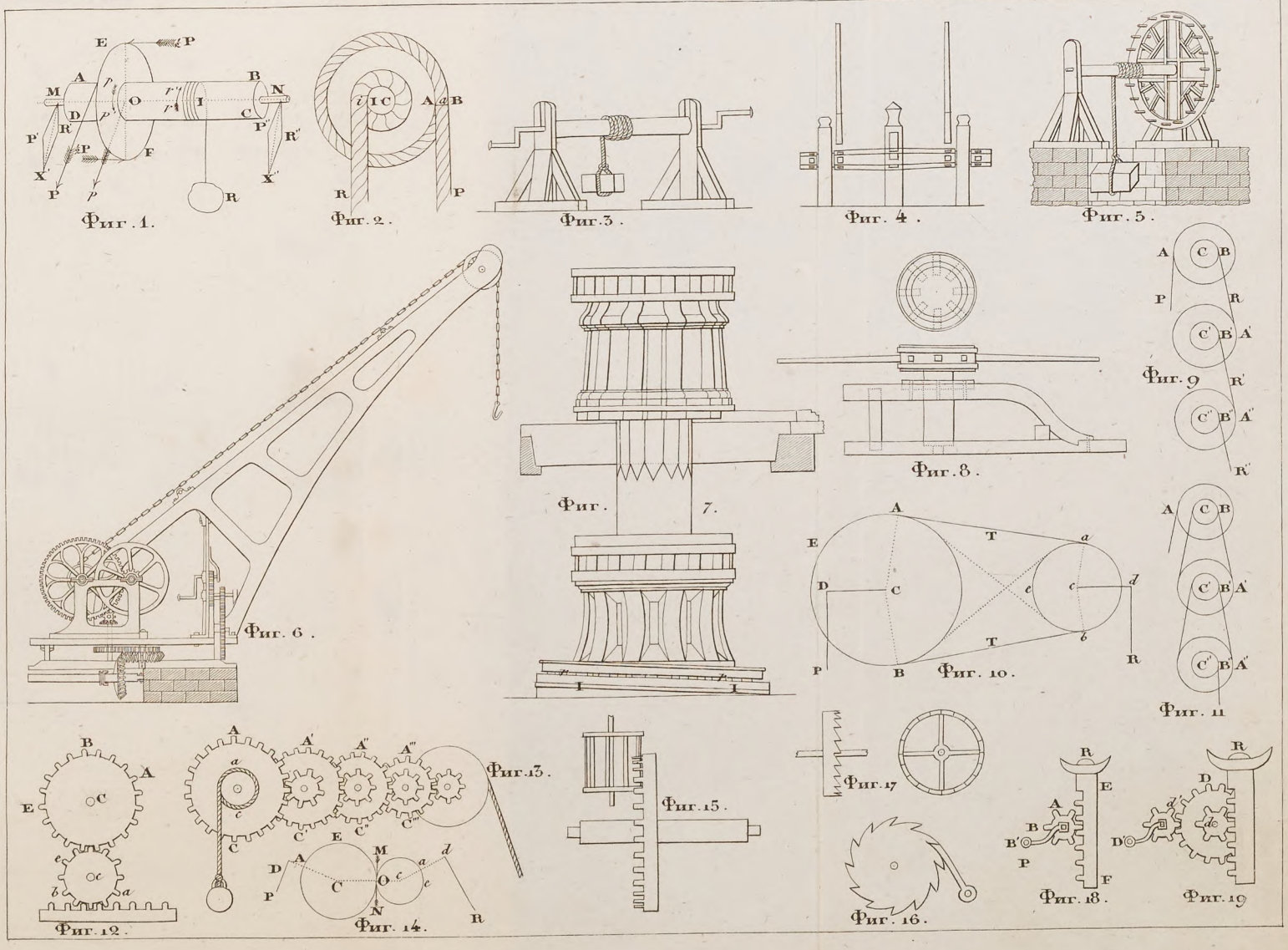
Digitized by Google



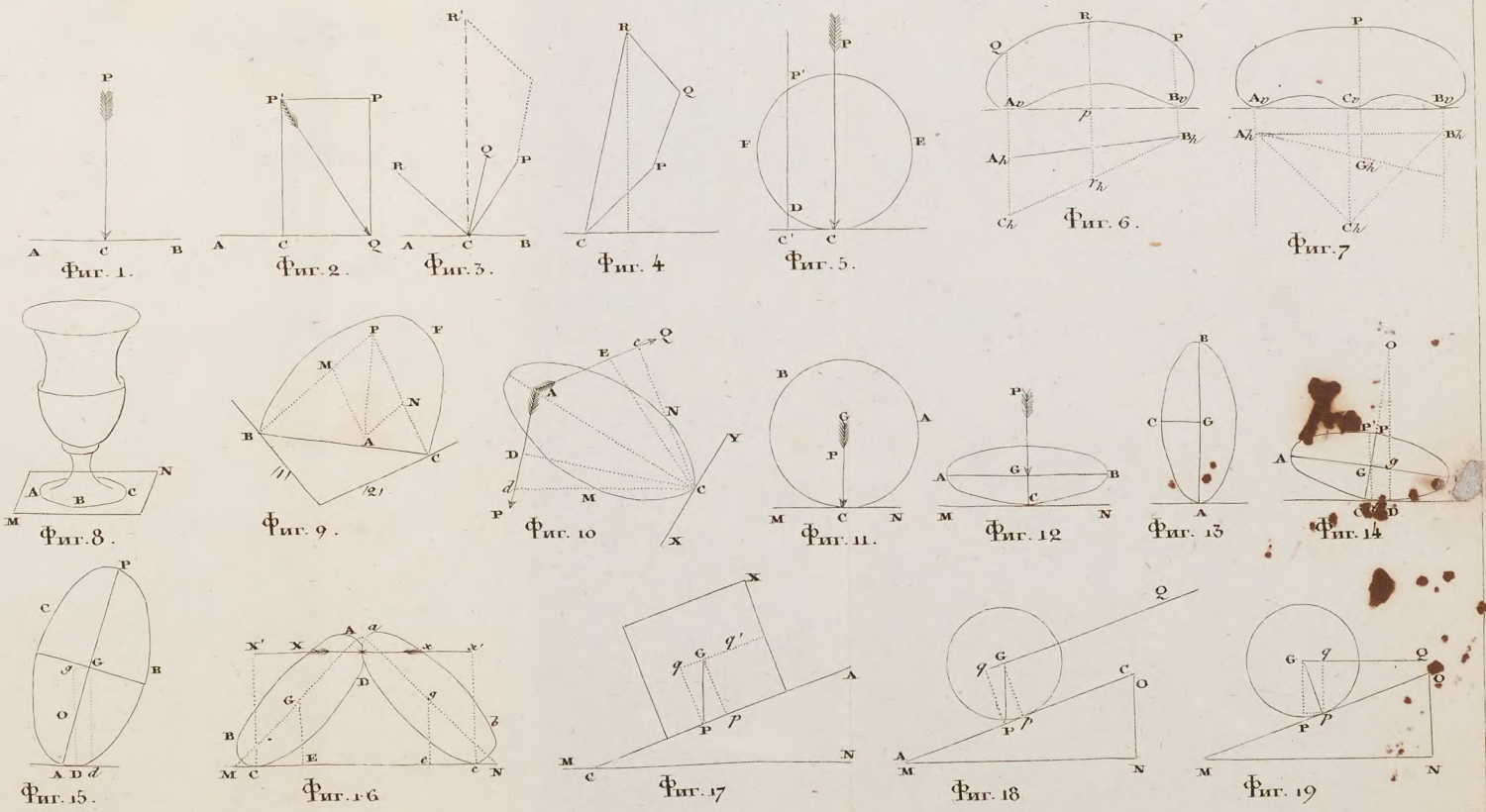
Digitized by Google



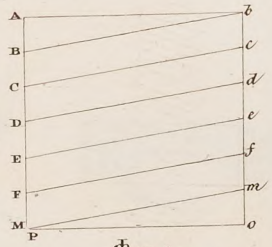
Digitized by Google



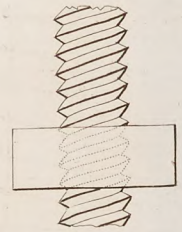
Digitized by Google

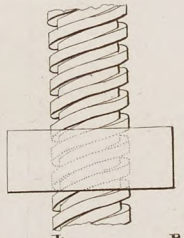


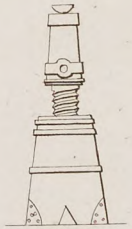
Digitized by Google

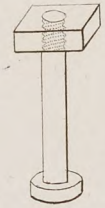


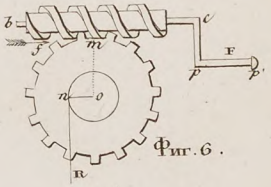
Фиг. 1.


Фиг. 2.


Фиг. 3.

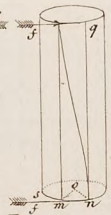

Фиг. 4.


Фиг. 5

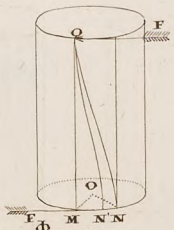


Фиг. 6.

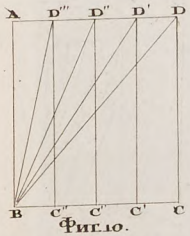
Фиг. 7.



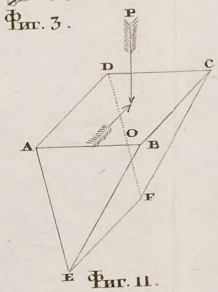
Фиг. 8



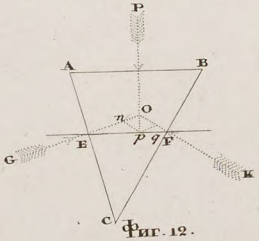
Фиг. 9.



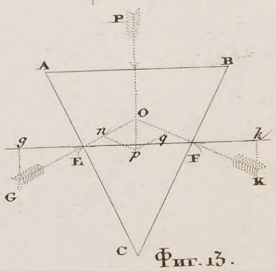
Фиг. 10.



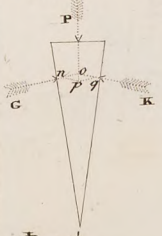
Фиг. 11.



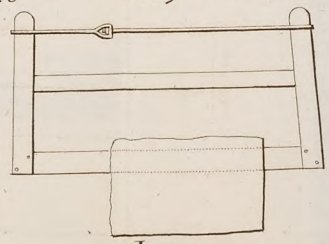
Фиг. 12.

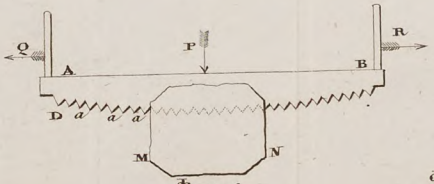


Фиг. 13.

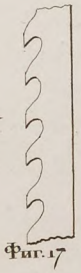


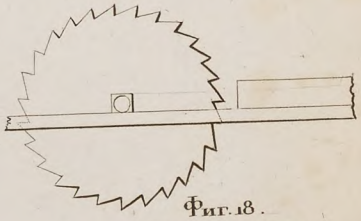
Фиг. 14


Фиг. 15

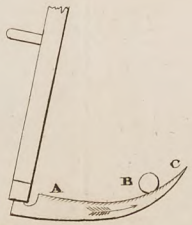


Фиг. 16.


Фиг. 17


Фиг. 18.

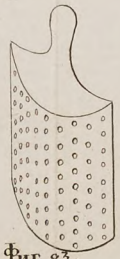
Фиг. 19



Фиг 20

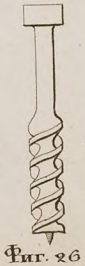
Фиг. 21.

Фиг. 22.


Фиг. 23.

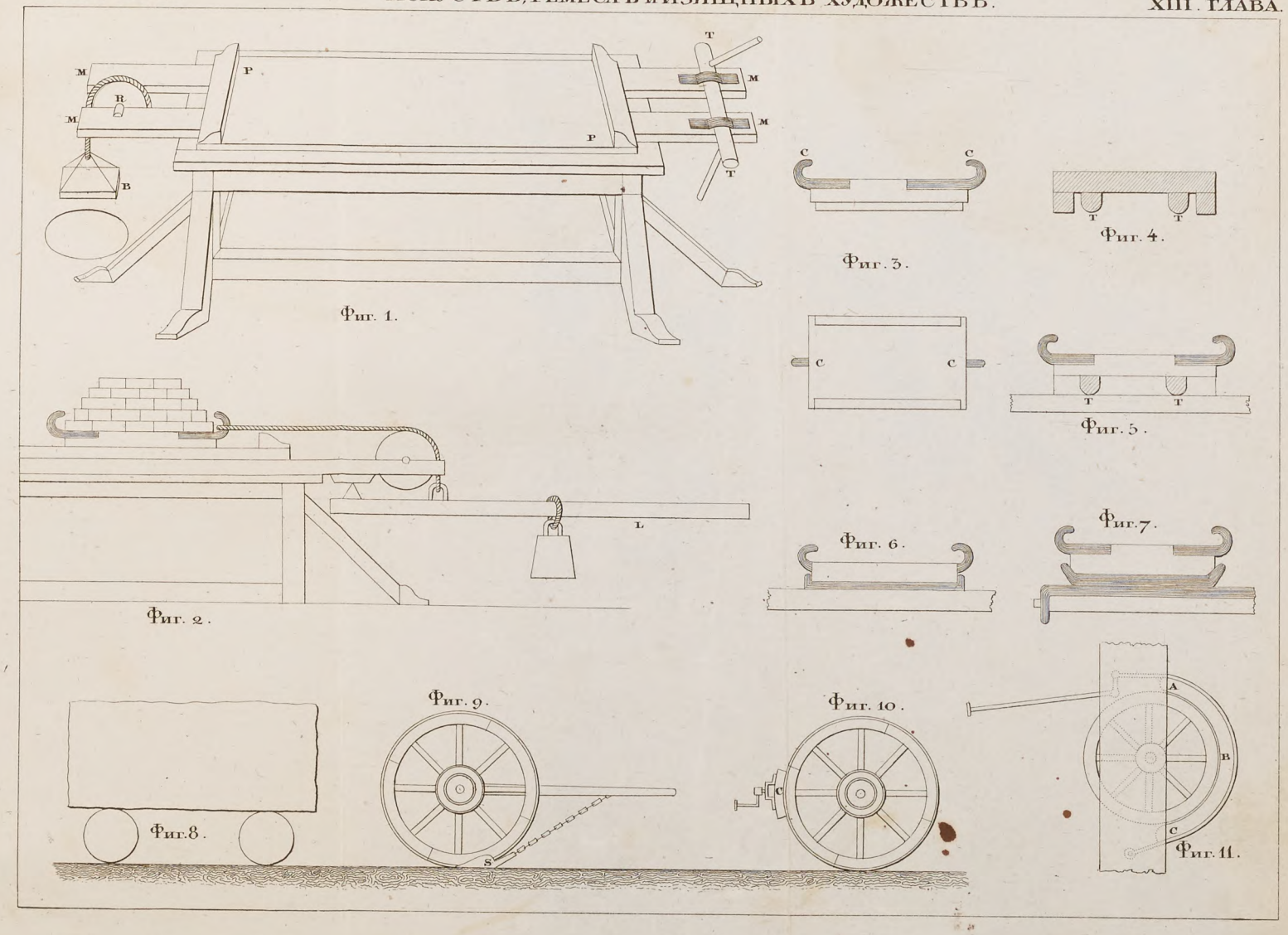
Фиг. 24

Фиг. 25

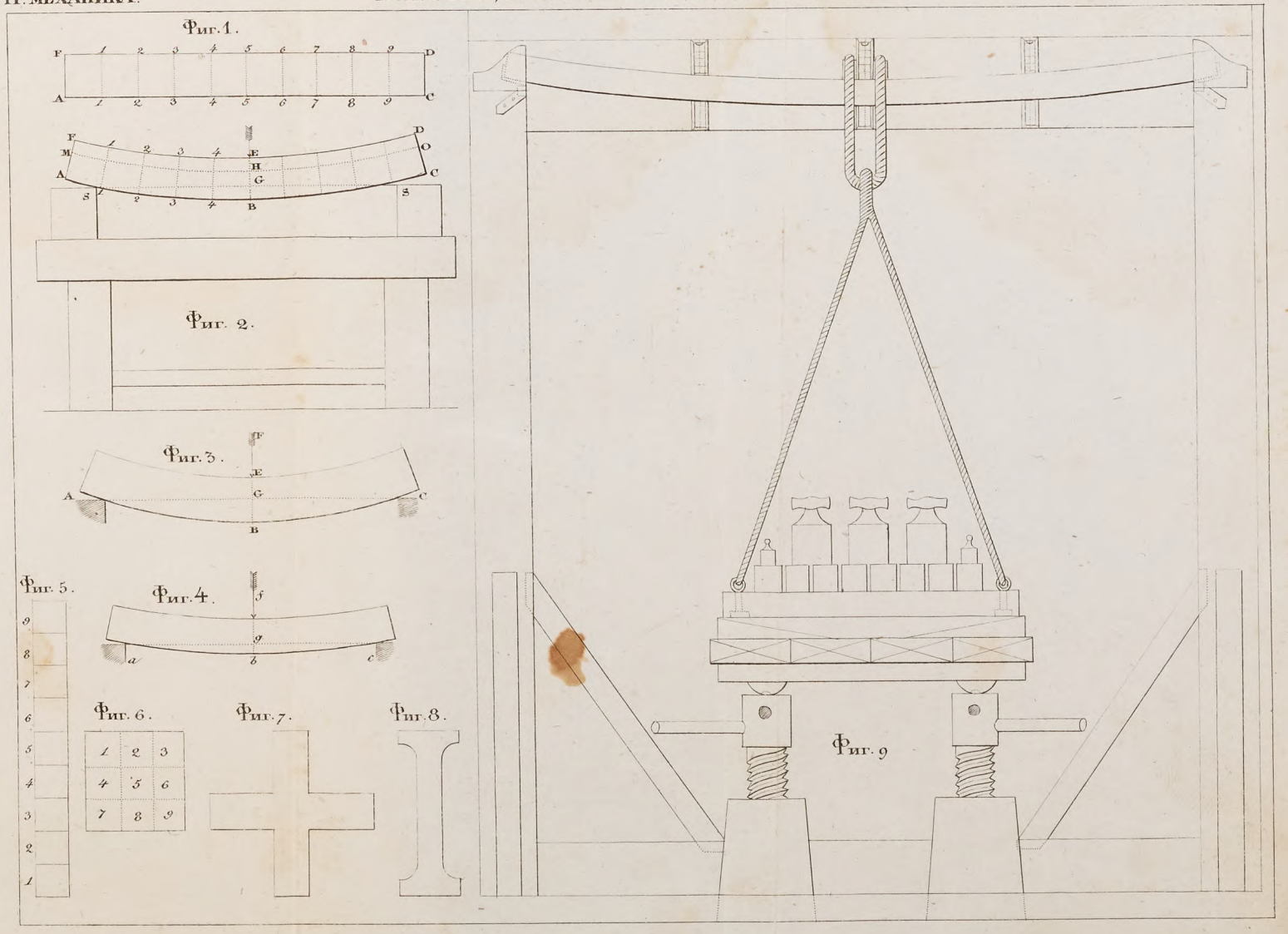

Фиг. 26.

Фиг 27

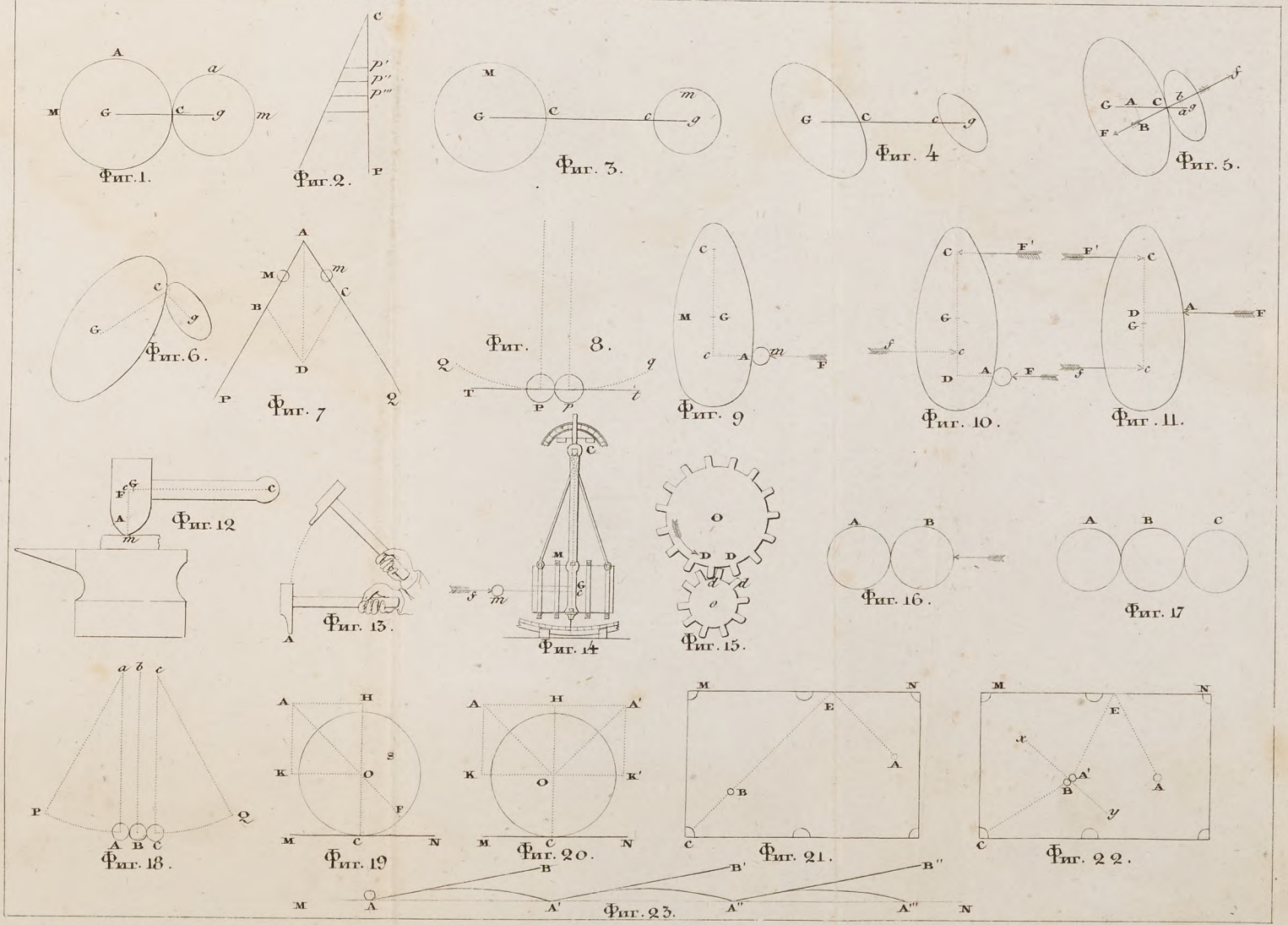
Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

2 9. IX. 1933

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google